

**MINISTARSTVO ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE
REPUBLIKE SRBIJE**

**PRERADA KOMUNALNIH OTPADNIH VODA,
TEHNOLOŠKO TEHNIČKI PRIKAZ I KRITIČKI
OSVRT RADA KARAKTERISTIČNIH POSTOJEĆIH
OBJEKATA, DAVANJE OPTIMALNOG PREDLOGA
SISTEMA-OBJEKATA ZA PRERADU KOMUNALNIH
OTPADNIH VODA, SA ASPEKTA ZAŠTITE VODA,
VAZDUHA I ZEMLJIŠTA, NASELJENIH MESTA
REPUBLIKE SRBIJE**



Beograd, 1999. godine

**MINISTARSTVO ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE
REPUBLIKE SRBIJE**

**PRERADA KOMUNALNIH OTPADNIH VODA,
TEHNOLOŠKO TEHNIČKI PRIKAZ I KRITIČKI
OSVRT RADA KARAKTERISTIČNIH POSTOJEĆIH
OBJEKATA, DAVANJE OPTIMALNOG PREDLOGA
SISTEMA-OBJEKATA ZA PRERADU KOMUNALNIH
OTPADNIH VODA, SA ASPEKTA ZAŠTITE VODA,
VAZDUHA I ZEMLJIŠTA, NASELJENIH MESTA
REPUBLIKE SRBIJE**

Izdavač:

**MINISTARSTVO ZAŠTITE ŽIVOTNE SREDINE
REPUBLIKE SRBIJE**

Za izdavača:

**Ministar
dr. Branislav Blažić, lekar specijalista**

Obradivač teme:

**Preduzeće za inženjering, projektovanje i izvođenje
"Balby International" - Beograd**

Urednik:

Prof. dr. Dušan Babac, dipl. inž. grad

Autori:

mr. Pavle Babac, dipl. inž. građ.
Miroslav Milovanović, dipl. inž. tehn.
mr. Dušan M. Babac, dipl. inž. hidrogeolog
Zorica Pavlović, dipl. inž. građ.
Dr Aleksandar Babac, lekar

Recenzenti:

Prof. dr. Dejan Ljubisavljević, dipl. inž. građ
Prof. dr. Srbobran Đorđević, lekar
mr. Olivera Grozdić, dipl. inž. tehn.
Tomislav Marković, dipl. inž. tehn.

Tiraž:

400 primeraka

Kompjuterska i grafička obrada:

"Balby International"

Štampa:

Štamparija "Đorđević"

Ova publikacija je rađena u vremenu kada je više hiljada bombi i raketa padalo na našu zemlju, kada su ljudi ginuli a stanovi, kuće, fabrije i mostovi bili rušeni. Publikacija je rađena u periodu od marta do jula 1999. godine, uz često zavijanje sirena, nestajanje struje i vode. Na bombe, razaranja i izazivanja haosa i smrti, "civilizovanog, naprednog i demokratskog zapada", odgovoreno je pesmom, igrom i radom, a mi izradom korisne tehničke publikacije za dobrobit žitelja Srbije.

Direktor
Preduzeća "Balby International"
Prof. Dr Dušan Babac, dipl. inž. grad.

IZVODI IZ IZVEŠTAJA RECENZENATA

Recenzent: **Prof. Dr Dejan Ljubisavljević, dipl. ing. građ.**

" U stručnoj javnosti se zadnjih godina budi ekološka svest i ističe se potreba za zaštitu površinskih i podzemnih voda, te shodno tome, treba očekivati da nam u skorijoj budućnosti, predstoji intenzivna izgradnja uređaja za prečišćavanje otpadnih voda.

Ova publikacija na stručan način daje prikaz i objašnjenje problematike prečišćavanja otpadnih voda. Obradena su domaća i strana iskustva, istorijski razvoj i nove tehnologije. Ukazano je na nužnost tipizacije objekata za prečišćavanje otpadnih voda i ponuđena su tehnološka i hidraulička rešenja za tipska postrojenja kapaciteta za 2 500 ES, 5 000 ES, 10 000 ES, 30 000 ES, 50 000 ES i 100 000 ES.

Za rešavanje problema prečišćavanja otpadnih voda potrebno je razraditi planove i programe njihove izgradnje, odrediti prioritete i stručno se osposobiti za celishodno projektovanje, izgradnju i eksploataciju ovih objekata, u čemu nam ova publikacija pomaže. Ova publikacija zbog svoje opsežnosti može da služi za edukaciju domaćih kadrova koji imaju nedovoljnog iskustva u praćenju i održavanju postavljenih tehnologija prečišćavanja otpadnih voda.

"

Recenzent: **Prof. Dr Srbobran Đorđević, lekar, spec. san. hig.**

" Izloženi materijal o problematici prerade otpadnih voda u nas je veoma opsežan, prezentiran je na preko 600 stranica, sa brojnim tabelama, skicama, crtežima i slikama.

Počelo se logično sa istorijskim podacima o razvoju i evoluciji problema kanalizacije u svetu i kod nas, koji su veoma interesantni, obogaćujući ekološku kulturu korisnika.

Autori opravdano polaze od demografskih podataka o grupaciji stanovništva po naseljima i od niskog zadovoljenja potreba u ovim objektima, ukazujući nam na ozbiljnost i opsežnost budućih planova i programa u ostvarivanju ekoloških ciljeva zaštite voda životne sredine.

Od izuzetne je važnosti što se na jednom mestu daju svi naši zakonski propisi, koji se odnose na problematiku otpadnih voda i zaštitu voda uopšte. olakšava se njihovo korišćenje, ponašanje prema zaštriti voda, kao i primeni zakonskih propisa. Opsežno se tretiraju sadržaji Prostornog plana Srbije i vodoprivredne osnove, kojima se detaljnije razrađuje problematika zaštite voda.

U sklopu složenih procesa prečišćavanja otpadnih voda široko su osvetljene prirodne zakonitosti u oblasti fizičke, hemijske, a naročito biološke sfere. Nastoji se da se matematičkim pokazateljima i modelima potvrde zakonske hipoteze, kvantificiraju odnosi, čime se olakšava razumevanje i primena iznesenih podataka. Prirodne zakonitosti su zasnovane na eksperimentalnim iskustvima i dokazima.

Polazeći od demografske strukture naselja u nas razrađeni su tipovi uređaja za ekstremno mala naselja, ekstremno mala postrojenja, mala postrojenja, zatim uređaji za 2 500 ES, 5 000 ES, 10 000 ES, 30 000 ES, 50 000 ES i 100 000 ES, što odgovara našim urbanim aglomeracijama, čime se omogućuje njihovo korišćenje i u seoskim naseljima u budućnosti.

Ubedljivo, sa priloženim dokazima, iznete su kritike na širu primenu korišćenja laguna u ovoj oblasti, sa posebnim osvrtom na odnose i stav prema industrijskim otpadnim vodama, za koje se zahteva predtretman na mestu stvaranja, odnosno u preduzeću pre ispuštanja u kanalizacioni sistem.

Posebno se ističe potreba stvaranja uslova za korišćenje stabilizovanog mulja iz otpadnih voda, kao veoma korisnog poljoprivrednog đubriva sa vrednošću za 20% većom od veštačkih proizvoda.

Od velikog je značaja iznošenje naše situacije u pogledu primene uređaja za prečišćavanje otpadnih voda u Arandjelovcu, Baču, Kragujevcu i Gornjem Milanovcu, kao i mnogi uređaji u nekim zapadno-evropskim zemljama, čime se omogućuje uvid u eventualne greške i zahtev za njihovu korekciju. Ističe se raznovrsnost izgrađenih uređaja, kao i potreba za njihovom tipizacijom i izborom najefikasnijih i ekonomičnih rešenja čime se olakšava održavanje i efikasno funkcionisanje sistema za prečišćavanje otpadnih voda, naročito u našim uslovima u kojima ne postoji bogatija tradicija i iskustvo u radu ovih postrojenja.

Literatura na našem jeziku iz ove oblasti je veoma skromna, te pojava ovog materijala u vidu publikacije predstavljaće značajan doprinos u popunjavanju praznina iz ove oblasti."

Recenzent: Mr Olivera Grozdić, dipl. ing. tehn

" Publikacija na opsežan i slikovit način daje prikaz niza tehničko-tehnoloških rešenja prerade komunalnih otpadnih voda, od prvih postrojenja pa do danas, kako u našoj zemlji, tako i u svetu.

Diskutujući različita primenjena rešenja do detalja su prezentirani tehnološki postupci, oprema, hidraulički proračun. Takođe su navedeni uočeni nedostaci i manjkavosti, ali date sugestije i konkretni predlozi koji bi ublažili iste, te povećali efikasnost rešenja.

Načinjen je pokušaj unificiranja problema, odnosno tipizacije postrojenja, u zavisnosti od hidrauličkog i organskog opterećenja, izraženog preko broja EC. Na taj način bi se, zahvaljujući kompatibilnosti, olakšala nabavka i održavanje opreme, remont i dogradnja postrojenja, kao i upravljanje istim.

Poseban akcenat se stavlja na potrebe postupnog rešavanja mulja iz komunalnih postrojenja, te se kao redak primer kod nas i uzor navodi uzgrađeno centralno i postrojenje "Cvetojevac" za prečišćavanje otpadnih voda Kragujevca. Iako je za ovo postrojenje izgrađena I faza, na njemu je u potpunosti rešena, pored "linije vode" i "linija mulja".

Pošto je publikacija uređena veoma stručno i profesionalno, osim informativnog ima i edukativni značaj, pre svega za ljude koji se bave problematikom komunalnih otpadnih voda. "

Recenzent: Tomislav Marković, dipl. inž. tehnol.

" Pripremljeni materijal biće, nadam se, prihvaćen od širokog kruga interesenata, od svih koji se bave problematikom ekologije, zaštite vode i zemljišta, korisnika uređaja za prečišćavanje voda, projekatana i drugih koji se ovom problematikom bave i ovde prezentiran materijal mnogima će služiti kao pokaz u razmatranje, problematike iz domena zaštite voda od zagađivanja. "

SADRŽAJ

PREDGOVOR.....	3
Poglavlje I - Otpadne vode - opšte odredbe.....	5
1. UVOD.....	7
1.1. Otpadne vode urbanih sredina - istorijski razvoj.....	8
1. OTPADNE VODE URBANIH SREDINA.....	22
2.1. Komunalne otpadne vode - sastav i poreklo.....	22
2.2. Industrijske otpadne vode.....	31
1. ZAKONSKA REGULATIVA.....	48
3.1. Zakonska regulativa i Vodoprivredna osnova u Srbiji - istorijat, zakoni, odredbe i propisi.....	48
3.2. Francuska regulativa za otpadne vode.....	71
Poglavlje II - Tehnologija i tehnika u obradi.....	75
1. UVOD.....	77
2. TEHNOLOGIJA I TEHNIKA PREČIŠĆAVANJA KOMUNALNIH OTPADNIH VODA.....	79
2.1. Osnovni principi postavke prečišćavanja otpadnih voda.....	79
2.2. Fizički postupci u prečišćavanju otpadnih voda.....	87
2.3. Fizičko-hemijski postupci u prečišćavanju.....	103
2.4. Biološki postupci u prečišćavanju.....	111
2.5. Uređaji u postrojenjima za prečišćavanje otpadnih voda.....	119
3. SISTEMI POSTROJENJA ZA PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA.....	177
3.1. Sistemi postrojenja sa lagunama.....	177
3.2. Sistemi kompaktnih postrojenja (sa aktivnim muljem).....	188
3.3. Ocena karakteristika navedenih sistema.....	204
Poglavlje III - Bilansi i proračuni.....	207
1. UVOD.....	209
1.1. Projekcija demografskog razvoja u Srbiji.....	210
1.2. Norme produkcije fekalnih otpadnih voda, odnosno norme potrošnje sanitarnih voda.....	212
1.3. Osnovni računski elementi za domaće upotrebene vode - fekalnu kanalizaciju.....	213
1.4. Osnovna opredelenja pri odlučivanju o tipizaciji postrojenja.....	216
2. Ekstremno mala postrojenja.....	219
2.1. Kompaktna postrojenja kapaciteta do 2 500 ES.....	221
3. Mala postrojenja.....	225
3.1. Tehničko-tehnološko rešenje postrojenja.....	227
3.2. Postrojenje kapaciteta od 2 500 ES.....	229
3.3. Postrojenje kapaciteta od 5 000 ES.....	254
4. Srednja postrojenja.....	279

4.1. Tehničko-tehnološko rešenje postrojenja	279
4.2. Postrojenje kapaciteta od 10 000 ES	285
4.3. Postrojenje kapaciteta od 30 000 ES	309
5. Velika postrojenja.....	333
5.1. Opseg kapaciteta i fleksibilnost postrojenja	335
5.2. Tehničko-tehnološko rešenje postrojenja	337
5.3. Postrojenje kapaciteta od 50 000 ES	341
5.4. Postrojenje kapaciteta od 100 000 ES	408
Poglavlje IV - Postrojenja za prečišćavanje.....	475
1. POSTROJENJA ZA PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA U SRBIJI	477
1.1. Postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda "Banja" u Aranđelovcu	477
1.2. Postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda "Partizani" u Aranđelovcu.....	487
1.3. Postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda K.R.J. "Tvrđava" u Baču	494
1.4. Postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda "Mlakovac" u Gornjem Milanovcu ..	500
1.5. Postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda "Cvetojevac" u Kragujevcu.....	512
2. POSTROJENJA ZA PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA U SVETU	523
2.1. Postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda Korsor u opštini Korsor u Danskoj.....	523
2.2. Postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda Nastved u opštini Nastved u Danskoj.....	525
2.3. Postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda Stavsholt u opštini Farum u Danskoj.....	527
2.4. Postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda Fridrishavn u Danskoj.....	528
2.5. Postrojenje za prečišćavanje vode Limasol na Kipru.....	529
2.6. Postrojenje za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda naselja Hobar na Tasmaniji	530
3. NOVE TEHNOLOGIJE U PREČIŠĆAVANJU OTPADNIH VODA	531
3.1. ACTYFLO proces	531
3.2. A/O - Biološki selektor za sistem aktivnog mulja.....	533
3.3. Anaerobno / anoksični / oksidacioni (A2/O) proces u jarku	534
3.4. BIODENIPHO proces	535
3.5. BIOSTYR proces.....	538
3.6. OASES - sistem za aktivaciju mulja sa čistim kiseonikom	540
4. POLAZNI PRINCIPI ZA PROJEKTOVANJE POSTROJENJA ZA PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA	543
4.1. Princip podobnosti u odnosu na klimatske, sociološke i etnološke faktore	543
4.2. Princip striktnog poštovanja zakonskih odredbi i normativa u odnosu na zaštitu životne sredine	544
4.3. Princip racionalizacije projektovanja, izvođenja i održavanja postrojenja na nivou Srbije.....	545
APPENDIX	547
ZAKLJUČAK.....	561
LITERATURA	567

PREDGOVOR

Duži niz godina u Srbiji, nagomilana problematika prečišćavanja komunalnih otpadnih voda urbanih zajednica rešava se parcijalno, od slučaja do slučaja, što je skopčano sa velikim problemima, kako po pitanju adekvatnog izbora postupka tretmana komunalnih otpadnih voda, tako, pre svega, po pitanju same eksploatacije, regulacije i kontrole procesa u sklopu prečišćavanja komunalnih otpadnih voda.

Postrojenja su birana i postavljanja bez celovitog sagledavanja problematike na širem nivou, regionalnom i republičkom, tako da je izbor tipa postrojenja i primenjene tehnologije najviše zavisio od dogovora između projektanta i investitora, odnosno tehnologije i tehnike koju su na određeni način forsirali. Nekada je prilikom opredeljivanja za izbor postrojenja bilo i trenutnih, mahom pomodnih gledišta.

Sve ovo je dovelo do toga da je situacija sa postojećim postrojenjima u Srbiji dosta komplikovana. Danas u Srbiji postoji više tehnoloških pristupa ovoj problematici, tako da je skoro teško naći dva ista tehnološka rešenja sličnih postrojenja. O ugrađenoj opremi u postrojenja je suviše i govoriti. Tako je situacija danas na postojećim postrojenjima u Srbiji skopčana sa složenim problemima. Nema mogućnosti za veću razmenu iskustava, repromaterijala, rezervnih delova i drugo, pa su vlasnici postrojenja prinuđeni da se samostalno snalaze i nose sa nagomilanom problematikom kako znaju i umeju.

Zbog svega navedenog Ministarstvo za zaštitu životne sredine je pošlo od stanovišta da je neophodno započeti objedinjavanje problematike tretmana komunalnih otpadnih voda na nivou Srbije, obzirom da je tretman komunalnih otpadnih voda jedna od osnovnih karika u lancu zaštite životne sredine, koje, pre svega, ima za cilj da zaštiti recipijente, vode uopšte, vazduh i zemljište. Ova knjiga ima za cilj da sumira inženjerska iskustva i znanja, kao i da pobroji osnovne postavke neophodne za uspešno rešavanje problematike prečišćavanja komunalnih otpadnih voda.

Poglavlje I daje pregled istorijata kretanja rešavanja problematike komunalnih otpadnih voda, objašnjenja o tipovima otpadnih voda koje uobičajeno ulaze u sastav komunalnih otpadnih voda, kao i njihove uticaje na celu problematiku. Na kraju Poglavlja I se daje i pregled zakonskih normativnih akata iz ove oblasti kod nas i u svetu.

U knjizi je uspostavljen kriterijum za svojevrsnu standardizaciju tehnologije i tehnike na postrojenjima u Srbiji, kako bi se neuporedivo lakše, ne samo projektovala i postavljala postrojenja, već lakše i adekvatnije pratio konkretni rad i problematika na izgrađenim postrojenjima, menjivala iskustva, nabavljali rezervni delovi, repromaterijal i drugo. Ovaj trend je danas zastupljen u celom svetu, a osim tehničko-tehnoloških prednosti, nosi i značajne finansijske i eksploatacione opravdanosti.

Ovaj kriterijum je razrađen u Poglavlju II i Poglavlju III u ovoj knjizi.

Poglavlje II razrađuje tehnološke principe i tehnička rešenja problematike prečišćavanja komunalnih otpadnih voda, sa obiljem dijagrama i tabelarnih podataka, koji su neophodni za tehnološke i hidrauličke proračune postrojenja.

Poglavlje III daje predlog tipizacije i standardizacije postrojenja u Srbiji, sa uputstvom za kompletan tehnološki i hidraulički proračun za svako predloženo tipsko postrojenje. Svako postrojenje predstavlja problem za sebe, po kapacitetu, biološkom opterećenju i specifičnostima svakog naselja posebno, tako da priložene tehnološke i hidrauličke proračune treba koristiti kao detaljna uputstva kako treba vršiti proračun posebno za svako postrojenje sa konkretnim ulaznim parametrima. Ističemo još jedanput da priložene proračune pri projektovanju ne treba doslovno prepisivati.

Polazna osnova za uspešno rešavanje problematike tretmana otpadnih voda na nivou Srbije je snimanje konkretne situacije na postojećim postrojenjima, sagledavanje pojedinačne problematike i uočavanje nedostataka, kako tehnoloških, tako i tehničkih i organizacionih, na postojećim postrojenjima u Srbiji.

Ova problematike je razrađena u Poglavlju IV ove knjige. U prvom delu ovog poglavlja daje se pregled karakterističnih postrojenja u svetu. U drugom delu ovog poglavlja daje se pregled stanja odabranih karakterističnih postrojenja u Srbiji sa apostrofiranom eksploatacionom problematikom. U trećem delu ovog poglavlja navode se osnovni principi koje treba imati u vidu prilikom rada na razrešenju ove problematike.

Smatramo da će ova knjiga izuzetno korisno poslužiti, kako prilikom izrade i inoviranja propisa, tako i prilikom opredeljivanja za vrstu i tip postrojenja odnosno njegovog projektovanja.

Beograd, juni 1999. god.

P O G L A V L J E I

OTPADNE VODE - OPŠTE ODREDBE

1. UVOD

U svetu se danas mnogo vodi računa o kvalitetu vodenih tokova i preduzimaju se mere u cilju poboljšanja kvaliteta vodnih resursa. Savremeni svet pre svega insistira na prečišćavanju otpadnih voda, bilo da su one produkt industrijske proizvodnje bilo da su to komunalne otpadne vode. Prema kriterijumu evropske zajednice za sva naseljena mesta sa više od 2000 stanovnika propisuje se obaveza prečišćavanja otpadnih voda.



Slika 1 - Prikaz rešenja problema čiste i otpadne vode u gradu i industriji

Prema Prostornom planu Republike Srbije iz 1996. godine, koji je osnovni zakonski akt koji reguliše zaštitu vodotoka, prirodnih i kulturnih dobara, predviđen je nešto blaži kriterijum koji nalaže izgradnju postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda opšteg tipa za sva naselja veća od 5 000 ES (ekvivalentnih stanovnika).

Zaštita voda se takođe predviđa i Zakonom o vodama kao i drugim normativnim aktima. Nacrtom vodoprivredne osnove Srbije je predviđeno da se zaštita kvaliteta voda sprovodi integralno, u okviru sistema za korišćenje i zaštitu rečnih voda. Dugoročni programski cilj je u tome da se najveći broj reka i deonica na njima održi u I, IIa i IIb klasi kvaliteta, odnosno da se vrati u te klase ukoliko su sada izvan njih.

Taj cilj se dugoročno gledano može ostvariti prenošenjem težišta zaštite kvaliteta vode na prostor slivova, što je i urađeno preko sistema za korišćenje i zaštitu rečnih voda, uz kompleksno korišćenje tehnoloških, vodoprivrednih i ekonomsko-organizacionih mera. Zaštita kvaliteta vode se ne može ostvariti parcijalnim merama. Taj splet integralnih mera je složen i kontinuiran posao: od izbora proizvodnih tehnologija, mera planiranja razmeštaja industrije, unifikacije opreme za zaštitu, ekonomske stimulacije proizvođača da vodu koriste racionalno i višekratno, pa sve do integralnih vodoprivrednih mera na slivovima - popravljanjem režima malih voda namenskim korišćenjem akumulacija (oplemenjivanje malih voda).

Nacrtom vodoprivredne osnove stavlja se akcenat na zaštitu svih izvorišta voda, posebno izvorišta za velike regionalne sisteme. Da bi se proklamovani ciljevi ostvarili u prvi plan se promovišu sledeće mere zaštite:

- Rekonstrukcija, dogradnja i dovođenje u optimalne radne uslove postojećih uređaja za prečišćavanje otpadnih voda, čija je opšta efikasnost sada nezadovoljavajuća (analiza u okviru nacrta Vodoprivredne osnove iz 1997. godine je pokazala da samo 13% postojećih PPOV, postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, radi sa zadovoljavajućom efikasnošću).
- Potpuna sanitacija naselja, sa kanalizacionim sistemima separacionog tipa (posebni kolektori za otpadne a posebni kolektori za atmosfenske vode).
- Predtretman toksičnih industrijskih otpadnih voda, pre njihovog upuštanja u gradske kanalizacione sisteme.
- Prečišćavanje otpadnih voda onih industrija koje moraju da imaju svoja nezavisna PPOV, po prioritetima, tako da se najpre realizuju PPOV manjeg broja najvećih zagađivača, koji u ukupnoj emisiji zagađenja učestvuju sa 70 - 80 %.
- Zaštita od opasnih, toksičnih materija, postojanih i bioakumulativnih, primenom mera u samim tehnološkim procesima i izgradnjom uređaja za prečišćavanje.
- Ispuštanje termički zagađenih voda (termoelektrane) dozvoljeno je samo do granica koje se utvrđuju studijama uticaja na reku - prijemnik.
- Postepena zamena tehnologija u onim tehnološkim procesima u kojima u svetu postoje čistije i resursno efikasnije tehnologije.
- Dovođenjem visine naknade za ispuštanje zagađenih voda do nivoa da budu veće od troškova (investicionih i eksploatacionih) prečišćavanja otpadnih voda.
- Obezbeđenje uslova za sanitarno ispravno rukovanje i deponovanje svih muljeva nastalih u procesu tretmana otpadnih voda.
- Adekvatno lociranje vodozahvata i ispusta voda za industrije (gde god je to moguće) na taj način da se vodozahvati lociraju nizvodno od vlastitih ispusta otpadnih voda.
- Predviđa se izrada posebnog plana zaštite voda, striktna i stalna kontrola kvaliteta ambijentalnih i otpadnih voda, izrada i stalno ažuriranje katastra zagađivača i vođenje represivne politike u skladu sa zakonskom regulativom koja se odnosi na zaštitu kvaliteta voda, posebno sa stanovišta zabrane ispuštanja opasnih materija i stavljanja u promet proizvoda koji zagađuju vode, a za koje postoji odgovarajuća zamena. Dosadašnja klasifikacija voda je usklađena sa svim susednim zemljama, i zato je ne treba menjati.

Iz svega navedenog proizilazi jasna potreba za prečišćavanjem komunalnih otpadnih voda, odnosno otpadnih voda iz naselja, pre ispuštanja u recipijent, bilo da je to potok, melioracioni kanal, reka, jezero ili more.

1.1. OTPADNE VODE URBANIH SREDINA - ISTORIJSKI RAZVOJ

Posle višenamenske upotrebe vode u domaćinstvu, nastaje komunalna otpadna voda, koja se ne sme ispustiti na zemljište, u površinsku vodu ili kanal. Otpadna voda iz domaćinstva se sakuplja i kanalizacionim sistemom dovodi na postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda. Na postrojenju za prečišćavanje otpadnih voda se vrši uklanjanje supstanci koje mogu biti štetne za životnu sredinu uopšteno posmatrano. Očuvanje vodnih resursa, zaštita akvatične flore i faune na način posebno određen za svaki vodotok koji prihvata prečišćanu vodu iz postrojenja za prečišćavanje otpadne vode, je osnovni zadatak stručnjaka vodoprivrede, inspekcijских službi, uprave i osoblja koja rade na postrojenjima za prečišćavanje otpadnih voda.

Da bi se razumeo napor koji se danas ulaže za rešavanje problema sakupljanja i dispozicije otpadnih voda mora se imati na umu istorijski razvoj kanalizacionih sistema uopšte. U nastavku su dati opisi razvoja londonske i pariske kanalizacije.

1.1.1. POGLED NA RANU LONDONSKU KANALIZACIJU

Engleska reč za kanalizaciju "sewer" potiče od staroengleske reči "seaward" što znači - ka moru. Naime, londonsku kanalizaciju su činili otvoreni blago nagnuti kanali koji su drenirali ljudske ekskrete prema reci Temzi, i konačno prema moru. Odvodni kanali su se brzo punili đubretom i ljudskim otpadom, i prelivali se na ulice, u kuće i pijace po čitavom Londonu.

Krajem 1500. kralj Henri VIII je izdao dekret po kome je svaki vlasnik kuće odgovoran za čišćenje kanalizacije koja prolazi pored kuće za stanovanje.

Kralj je takođe oformio posebnu "Komisiju za kanalizaciju" koja bi sprovođila ova pravila. Međutim, nije bilo predviđeno plaćanje članova komisije tako da ona nije počela sa radom sve do 1622. godine, kada je odlučeno da globe za nepridržavanje mogu da se koriste za finansiranje aktivnosti komisije.

Svakodnevne aktivnosti je beležio službenik i svaka izgovorena reč pred tribunalom je precizno transkribovana u trajne zapisnike komisije.

Ovi dokumenti prate više od 250 godina ljudske patnje i bede, uglavnom usled neznanja o opasnostima od lošeg sanitarnog stanja. Građani, lekari, političari, pronalazači i policija su pripovedali živopisne horor priče o "miazmima, kugi i trenutnoj smrti" u domovima Londona.

Početkom 18. veka skoro svaka stambena zgrada je imala septičku jamu ispod poda. I u najboljim domovima mučni smrad je prodirao i u najelegantnije odaje. Zadah u zgradama je često bio gori nego na ulicama punih đubreta i izmeta. Dok su štetna isparenja ignorisala većina ljudi, gradsko stanovništvo se plašilo "noćnog vazduha" punog ugljenog dima i sumporne industrijske magle.

Vrata i prozori domova i fabrika su bili zapečaćeni u predvečerje radi zaštite od ulaska zastrašujućeg "noćnog vazduha". Čitave porodice i posade radnika su umirale od misterioznog "gušenja" tokom noći. Lekari nisu imali objašnjenje za bolesti i ove trenutne "miazme" koji su se pojavili u gradu. Živopisni opisi strahovitih smrti su rutinski saopštavani pred komisijom i u londonskim tabloidima.

Većina opisanih fatalnih ishoda i trovanja bili su posledice izazvane vodonik sulfidom ili nedostatkom kiseonika ili eksplozijama metana. Ovakvi uslovi su ostali do danas u kanalizacijama, septičkim jamama i ograničenim prostorima.

Kada bi se septičke jame prepunile, bile su tako napravljene da se preko grubo napravljene drenaže preliju u poluotvoreni kanalizacioni kanal koji se nalazio na sred ulice. Voda iz septičkih jama je često natapala temelje, zidove i podove prostorija u kojima se živelo. Drenaže su često bile zagušene usled čega se sadržaj jama razlivaio ispod zgrada i kontaminirao plitke bunare, cisterne i vodne tokove iz kojih se zahvatala voda za piće.

Mnogi kućevlasnici su "skladištili" velike količine "noćnog zemljišta" koje je imalo tržišnu vrednost kao đubrivo. Oni koji su "gajili" kanalizacioni otpad morali su da puze na rukama i kolenima kroz blato i da izvlače otpad na površinu. Obično su deca zapošljavana da dosegnu najteže delove. Obrazloženje pred komisijom za upošljavanje čak i veoma male dece na ovom poslu bilo je lažno, tvrdnjom da oni rade i kao čistači dimnjaka.

Čišćenje septičkih jama i kanalizacije nije vodilo samo u trenutnu smrt, već i u postepeno umiranje.

Izveštaj o radnim uslovima od 12. januara 1849. godine je presenterian komisiji: "Smrad je bio nepodnošljiv, vazduh je bio toliko zagađen da su eksplozije i gušenja bili česti. Bili smo blizu da izgubimo skoro sve ljude od gušenja gasom, posledenji čovek je izvučen na leđima kroz dve stope crnog smrdljivog taloga u bezsvesnom stanju."

21. februara 1849. godine: "Eksplozije su se pojavile na dve različite lokacije gde su ljudi ostali bez kože lica i kose. Napredujući prema Sauthemptonu, debljina taloga je iznosila 2 stope i 9 inča, a samo 1 stopa i 11 inča je bilo slobodno u kanalizaciji. Na oko 400 stopa od ulaza, prva lampa se ugasila, a 100 stopa dalje, druga lampa je izazvala eksploziju i spalila kosu i lice čoveka koji ju je nosio."

Komisija je zaključila da "kao prvi princip treba zapisati da zajednička kanalizacija ne sme biti manja od čoveka prosečnog rasta koji treba da je čisti."

Pošto su čuli na hiljade ovakvih izveštaja, komisionari su angažovali tim lekara da istraže radne prostore, izmere radnike, i naprave skice da bi pokazali kojih dimenzija treba da bude kanalizacija da bi pristup za održavanje bio nesmetan. Oni nisu analizirali samo veličinu prostora za prolaz radnika, već su merili i debljinu otpada akumuliranog u kanalizaciji i drenažama. Preporuke i crteži koji su predati doveli su do zabrinutosti zbog loših uslova zaposlenih na čišćenju kanalizacije i septičkih jama.

1.1.1.1. Dreniranje londonske kanalizacione baruštine

Londonske ulice leže na 30 stopa ispod nivoa Temze pri visokom vodostaju. U gradu je živelo preko 2 miliona ljudi u uslovima velike prenaseljenosti a stanje je svakim danom bivalo sve gore. Epidemije kolere, tifusa, tuberkuloze i drugih nedefinisanih bolesti potresale su grad više od četiri veka.

Edwin Chadwick, sanitarni reformator svoga doba, borio se protiv nezaineteresovanosti viših slojeva društva za rešavanje ovih užasnih uslova života. Chadwick je obilazio kanalizaciju, razgovarao sa čistačima i predao na stotine izveštaja komisiji. Eksperimentisao je na pogodnostima čiste vode iz jezera i rezervoara, u odnosu na zagađenu Temzu. Njegov javni zdravstveni rad zaustavio je poplavu smrti.

Oštro je kritikovao stanovnike Londona zbog nepridržavanja Mojsijevog zakona, često naglašavajući da "je zabranjeno čak i otvorene prostore prljati ljudskim otpadom, i odmah naložio da on mora biti odlagan na većoj udaljenosti i odmah prekriven zemljištem."

Napadao je pohlepne kućevlasnike jer je u prvim fazama istraživanja, predloženi sistem čišćenja uklanjanjem otpada u suspenziji, bio odbijen na ekonomskim osnovama zbog predpostavljenog gubitka novca dobijenog za đubrivo.

Komisija je u to vreme konstatovala da uklanjanje "noćnog zemljišta" nije više profitabilno, i da "policija mora biti angažovana u sprečavanju čistača u pražnjenju sadržaja septičkih jama u veoma koncentrisanom i opasnom stanju u provizorne jame." (Ilegalno deponovanje).

Izgradnja velikih centralnih pokrivenih kanalizacija počela je 1844. godine, iako do tada nije postojao plan o zameni septičkih jama. Međutim, zbog neisplativosti i opasnosti njihovog čišćenja, komisija je predložila privremenu upotrebu "pokretnih prijemnika" kakvi su u to vreme bili u upotrebi u Parizu.

U međuvremenu, inženjeri su imali težak zadatak pravljenja kanalizacionog sistema koji će moći da primi i otpremi izvan područja otpad od 2 miliona ljudi, a u skladu sa Mojsijevim zakonom.

Komisionari su dozvolili eksperimente sa "zemljišnim kontejnerima ili vodenim ormarima" i sa "tubularnim načinom dreniranja" u gradovima i selima po čitavoj Engleskoj.

Kako Ser Thoma Crapper nije usavršio svoj izum, komisija je dobila stotine manje funkcionalnih projekata. Koncept "vodenog ormara" (water closet - WC) još nije bio u širokoj primeni.

Po vizijama komisije, kompletan sistem "cevnih drenaža" je morao biti konstruisan da momentalno odnese čvrsti ili polučvrsti otpad.

"Veliki smrad" od nadošle Temze iz 1858. godine, izazvao je da na hiljade ljudi napuste grad, dok je parlament bio u stalnom zasedanju. Prozori zgrade parlamenta su bili zastrti zavesama natopljenim hlornim krečom, da bi se sprečio prestanak zasedanja. Stanovnici iz viših slojeva su ili napustili grad ili su kvasili čaršave parfemima da bi neutralisali spoljašnji smrad.

Stari Ser Marc Isambard Brunel, zajedno sa svojim sinom Isambrand Kingdom Brunelom, predao je plan dreniranja Londona u reku izgradnjom tunela ispod Temze dugačkog 1 600 stopa. Njihov smeli plan je počivao na konstrukciji štita prečnika 25 stopa, iza koga bi radilo 9 ljudi i magaraca sa kolicima na uklanjanju zemljišta i transportu do površine. Bušotina prečnika 25 stopa bi se spuštala od 35 stopa ispod korita reke do 121 stopu udaljenosti.

U očajničkoj potrazi za bilo kakvim rešenjem, komisija je prihvatila ovaj projekat. U slučaju da uspeju, Bruneli bi postigli što nikom nije pošlo za rukom pre toga.

Posao je brzo napredovao, i začuđujuće, projekat je završen bez ijedne žrtve, mada je mlađi Brunel skoro poginuo prilikom obrušavanja podgrade samo nekoliko stopa od ulaza u iskop.

Kada je kraljica Viktorija saznala za ovaj uspeh, bila je opsednuta idejom da putuje ispod Temze tako da je naručila da se napravi mala železnica sa otvorenim vagonima tako da može da joj se pridruži ceo parlament na putu kroz tunel.

Javnost je pratila entuzijazam kraljice Viktorije. Po zahtevu naroda, kanalizacioni tunel je pretvoren u pomodnu promenadu londonaca. Viktorijina železnica je postala turistička atrakcija. Gasne lampe i staze su bili postavljeni kao i mali štandovi sa suvenirima za posetioce koji su plaćali ulaznicu za šetnju ispod moćne reke. Danas je tunel deo čuvene londonske podzemne železnice.

Postavljanje železnice dovelo je do razmišljanja o podršci boljih uslova života stanovnika Londona čiji broj je već dostizao 3 miliona. Svetlost na kraju tunela je postepeno bivala sve veća.

Prednosti cevnog sistema drenaža i centralne kanalizacije su promovisane parlamentu od strane komisije. Specijalni vodni rezervoari konstruisani za "čišćenje" postojeće kanalizacije su pomogli, ali je postajalo sve jasnije da su glatke unutrašnje površine i adekvatni padovi neophodni za nesmetano kretanje otpada kroz sistem.

Komisionari su smatrali da je inspirajući toalet Ser Thomasa Crappera bio neophodan da "ispere sve probleme Londona".

Oni su sa puno entuzijazma verovali da će "odgovarjuće projektovana kanalizacija kombinovana sa prilivom vode sprečavati taloženje i da će havarije postati toliko retke da neće biti potrebna specijalna provizija za čišćenje."

Stari i loši dani Londona

"Ring a ring of rosy
A pocket full of posies
Atchoo, atchoo -
All fall down! "

"Kružić, kružić, crvenić
U džepu je koprivić
Apćiha, apćiha
Svi padoše "

Ova poznata pesmica ima veoma tužnu temu. Naime, ona opisuje simptome velike kuge koja je 1665. godine ubila 60 000 ljudi za 6 meseci. "Ring of rosy" se odnosi na crvene kraste sa crvenim prstenovima okolo. "A pocket full of posies" opisuje "bukete" jakih biljaka koje su ljudi nosili da ih čuvaju od pošasti. Kijanje je uglavnom prethodilo umiranju, a većina londonaca je "padala" od bolesti.

Životni uslovi u Londonu u 17. i 18. veku su bili neverovatno loši, mada po srednjovekovnim standardima poboljšani. Ogromna populacija je uglavnom živela po prenaseljenim stambenim zgradama.

Oni koji nisu mogli da pronađu ni takav smeštaj, spavali su po mehanama, tavanima, noćnim podrumima, ulazima i ulicama. Mnogi su jednostavno spavali na zakupljenim stolicama u pabovima, gde su bili stalni gosti. Kafeterije i pabovi su bili poželjna mesta za one koji su se naseljavali u Londonu.

Metan (barski gas) stvaran u septičkim jamama je izazivao požare i eksplozije, donoseći trenutnu smrt onima koji bi se zatekli u zapečaćenim kućama. Gas vodonik sulfid je paralizovao pluća žrtvama na spavanju.

Procenjuje se da je nekoliko stotina hiljada londonaca stradalo od tifusa, kolere, tuberkuloze i kuge dok nije shvaćeno da grad umire od sopstvene prljavštine.

Naposletku je bilo prepušteno članovima komisije za kanalizaciju da pronađu način da očiste grad od vekovima taloženog ljudskog otpada.

Sluge, kao što su kuvari i kućne pomoćnice, su spavali u kuhinjama ili ostavama. Bilo je 6 000 svinjaca i nebrojeno mnogo klanica u stambenim zonama. Kupanje i čist vazduh su bili nepoznati pojmovi. Većina ljudi je imala samo jedno odelo, a nije poznato koliko često je ono bilo prano ili čišćeno.

Uslovi života u velikoj gužvi u Londonu su delom bili posledica socijalne tradicije, ali uglavnom diktirani željom da se živi blizu mesta rada. Ulice su bile prekrivene radnjama sa svim vrstama robe od dugmića i cigle, do pekara i kobasica od stoke koja je na licu mesta klana.

Do 1780. godine je u Londonu bilo više od 60 000 konja koji su se kretali ulicama. Kokoške, guske i patke su delile dvorišta i leje sa kozama, svinjama i ovcama.

Industrijska revolucija je dovela ogromnu populaciju u London. Fabrike su počele da izbacuju nove vrste hemijskih otpada na ulice i otvorene kanale. Šezdeset kanalizacionih kolektora se izlivalo direktno u Temzu, odakle je dve trećine snabdevača grada pijacom vodom zahvatalo neprečišćenu vodu.

U nekim slučajevima su kanali imali višu kotu od septičkih jama i podruma. Kao posledica toga, septički otpad se vraćao u zgrade, zamuljivao zidove i plavio sobe.

Sadržaj koji se prelivao po ulicama, kanalisao je u otvorene rovove, leje i sve raspoložive kaverne. Sve češće su se napuštene septičke jame i drenaže rušile pod težinom saobraćaja i postajale grobnice konja i kočijaša zajedno sa kolima i tovarom.

Kako su gomile otpada rasle, eksperti i amateri su opsedali stručne tribine u želji da prikažu moguća rešenja londonskog problema.

1.1.1.2. Lekcije iz prošlosti putokaz za budućnost

Ironijom sudbine, rešenja za bolesti društva su bila zapisana u kamenu, na papirusu i u tradiciji odavno napuštenoj.

Brojni učeni ljudi su se pojavljivali hvaleći zasluge sisteme otpadnih voda starih civilizacija.

Članovi komisije su slušali istoričare kako hvale 4 000 godina stare Minojske drenažne sisteme na Knososu, sa cisternama postavljenim na brdima koje su se punile kišnicom i kamenim akvaduktima koji su davali konstantan tok do kupatila i klozeta. Otpadne vode su se odvodile cevima od terakote i bile spojene cementom.

Takođe su potsećali, da je samo pre 2 000 godina, kanalizacija u Atini uz korišćenje vode odvodila ljudski otpad do kolektora koji je bio izvan grada. Iz tog basena je tok bio kanalisao ciglom popločanim pravcima za irigaciju i navodnjavanje voćnjaka i polja.

Velika Rimska kanalizacija ili "Cloaca Maxima", koja i danas drenira Forum, je bila izgrađena da prihvati kišne vode, a samo u slučaju nužde, korišćena je za odlaganje ljudskog otpada, kada su bile povećane gužve.

1.1.1.3. Rešenje za zagađenje je r a z b l a ž e n j e !

Nadležni i u drugim evropskim gradovima su takođe tražili rešenja. Mnogi su smatrali da ljudski otpad treba prazniti preko unutrašnje mreže do postojećih drenaža za kišne vode a onda u najbliži vodni tok. Jednostavno rečeno, rešenje je bilo voda!

U zvaničnim izveštajima o informaciji o primeni otpada gradova u poljoprivredi prijavljenih londonskoj komisiji se vidi da "ni u kom slučaju otpad ne može biti tako dobro primljen, tako potpuno sačuvan i tako produktivno primenjen kao u suspenziji sa vodom."

Gospodin Rammell, jedan od inspektora odbora, je prosledio činjenice sakupljene prilikom posete Parizu. On je preporučio da "princip zemljišne posude ili vodenih klozeta i cevne drenaže treba uvesti u engleske gradove." On je tvrdio da "će zamena septičkih jama vodenim klozetima biti svakako ekonomičnija pošto godišnji troškovi za septičke jame, uključujući kamate, popravke, troškove čišćenja značajno premašuju godišnje troškove vodenog klozeta sa priključkom na cevni sistem konstruisan na ulici."

Lokalni zdravstveni odbori su bili nadležni da "nadgledaju napuštanje svih septičkih jama i sprečavaju gradnju novih, sa kompletiranjem drenaže u svakoj kući u gradu."

Na nekim mestima, prenosne septičke jame su se koristile dok nisu izvedeni glavni kanalizacioni pravci.

Pre nego što je dat prioritet vodenim klozetima, nije bio primenjivan neki standardni tip drenaže. Nasumična mreža plitkih kanala sa ravnim dnom ili otvorenih rovova sa nekom vrstom podgrade su služili za pražnjenje septičkih jama do drenaža koje su išle sredinom ulica.

1.1.1.4. Kombinovanje novog i starog

Članovi komisije u Londonu su razmatrali separatne sisteme za ljudski otpad i kišne vode jer je inženjering dva sistema bio previše kompleksan i skup. Posle produženih razgovora, kombinovani sistem je ocenjen kao najbrži i najjeftiniji za uklanjanje otpada iz centra Londona.

Lako održavanje po ugradnji je bilo primarno za razmatranje. Testovi su pokazali da bi se pri brzini od 2 stope u sekundi (0.5 m/s) pokretala čvrsta faza duž sanitarne kanalizacije, ali da je brzina od 3 stope u sekundi (0.75 m/s) bila potrebna da bi se sprečila dispozicija peska, šljunka i štuta dospelog u sistem pri velikim padavinama.

Studije su pokazale da donji deo kanala sa dnom u obliku slova "V" može dobro da transportuje sanitarni otpad dok gornji deo obezbeđuje potreban kapacitet za transport kišne vode sa ulica. Ovo otkriće je dovelo do evolucije jajastog profila kolektora, sa glatkim površinama dokazanim kao najefektnijim za brzi transport. Tamo gde nije bilo dovoljnog pada, bila je planirana ugradnja pumpi.

Projektovanje sistema koji može da transportuje i kanalizacione i kišne vode doveo je do energičnih, dugih i detaljnih rasprava među članovima komisije.

Komisija je zaključila da su glatke glinene cevi pogodne za manje linije, ali da je jajasti oblik bolji za kombinovani protok u glavnim kolektorima.

Konačno, jajasti ili ovalni glavni kolektori su odabrani za kombinovano korišćenje a okrugle glinene cevi samo za kanalizaciju. Odluka je na posletku uneta u zapisnik od strane predsednika.

"Za objedinjenu namenu, gde je kanalizacija postavljena da primi kišne vode a gde komunalni otpad zauzima samo manji deo prostora, jajasti oblik je nesumnjivo najbolji."

U toku vremena, "samopročišćavajuće" karakteristike jajastih kolektora, (pronos istaloženog materijala) su se dokazale kao veoma efektivne, kao što su inženjeri i predvideli.

Što se tiče glinenih cevi, lovorike idu Minojsko - Helensko - Rimskoj grupi u pionirskom poslu potpuno ekološki čistog projekta.

1.1.2. ISTORIJAT PARISKE KANALIZACIJE

Izgrađen na ruševinama rimskog grada Lutecia, Pariz je zvanično osnovan 360 godine. Njegov razvoj je započeo širenjem utvrđenih zidina i rastom teritorije sve do devetnaesetog veka. Od drevnih vremena osnovno pravilo za brigu o pariskom otpadu je bilo "Tout-a-la-rue" što u prevodu znači "sve na ulicu", uključujući otpatke iz domaćinstva, fekalije i urin. Pariske prljave ulice su lako prihvatale otpad zahvaljujući čestim kišama, pešacima i kolskom saobraćaju. Jestiva masa je često bila hrana svinjama i divljim psima a ostatak je prepuštan mikroorganizmima. Miris truleži je bio jeziv i u svakom pogledu jedini doprinos parfemima u tadašnjem Prizu.

1.1.2.1. Pariska kanalizacija 1220 - 1789

Pariz 12. veka, još uvek ograničen na Isle de la Cite (gradsko ostrvo), koristio je Senu za čišćenje grada. Tokom 11. i 12. veka u Parizu je bilo mnoštvo javnih kupatila. Međutim, prisustvo golih muškaraca i žena zajedno, izazvalo je jako negodovanje crkve. Javna kupatila su postala veoma retka i nisu se ponovo pojavila sve do 19. veka. Ovakav negativan stav prema telu - otelotvorenju greha - i odgovarajućoj higijeni, smatralo se da uzdiže dušu. Konstantne nestašice vode nisu mnogo pomogle ovakvom stanju. Hronične nestašice pijaće vode u Parizu izazivale su zaraze koje se prenose vodom do duboko u 18. veku, pošto je voda bila dostupna sa samo nekoliko fontana i bunara, a dodatak novih izvora je teško mogao da odgovori zahtevima rastuće populacije.

Pariz se tokom 13. veka transformisao od feudalnih poseda prema posedima države i crkve, sa jednako podeljenom zemljom i vlašću. Filip Avgust je započeo javne radove kao što je izgradnja groblja Saints Innocents i tvrđave oko Pariza da bi se oslobodio prenaseljenosti. Takođe je naredio popločavanje puteva da bi se smanjio nadirući smrad impregniranog blata. Ovo jeste smanjilo blato, koje međutim i dalje ostalo u velikoj meri, ali se javio novi problem oslobađanja od smeća i kanalizacionog otpada koji više nije mogao da se infiltrira u zemljište.

Dugi periodi ratova od 14. do 17. veka su ograničili širenje Pariza u okviru utvrđenja. Priliv seljaka, u potrazi za boljom srećom, predstavljao je konstantan izvor povećanja populacije pošto je broj umrlih u Parizu skoro uvek bio veći od broja rođenih. Akumulacija otpada na ulicama je dostigla vrhunac 1348. godine te je Filip VI de Valois izdao proglas sa zahtevom da građani počiste ispred svojih vrata i odnesu svoje smeće do deponija ili da rizikuju globu i zatvor. On je oformio prvu grupu radnika za čišćenje ulica. Proglasi koji su izdavani svakih nekoliko godina, doneli su malo poboljšanja i bilo ih je teško sprovesti. Đubrište se gomilalo po ulicama, čineći neke potpuno nedostupnim. Na posletku, u očaju, kralj je naterao plemstvo da pruži primer, i ljudi su počeli da poštuju naređenja (ali su sada bacali svoje smeće na zaklonjena mesta i javna vlasništva).

Hughes Aubriot je 1370. godine napravio prvu pokrivenu kanalizaciju na Monmartru nazvanu Fosse de St. Opportune (Kanal svete prilike). Ovaj kanal se izlivao u Senu pokraj Luvra što je uvredilo Luja XII. Fransoa I je preselio svoju majku u Tiljeri da bi izbegla smrad. Pored toga, kruna je učinila veoma malo da unapredi kanalizaciju, pokazujući potpunu nezainteresovanost osim u slučajevima kada je bila lično pogođena neprijatnim mirisom. Ostalu kanalizaciju su činili jednostavni otvoreni kanali koji su vodili sredinom ulice bez određenog pravca. Ovi kanali su odurno smrdeli, preivali se u depresijama i pretvarali u prljavštinu kada je padala kiša. Neki očajnici su živeli od naplaćivanja za prelazak ovih otvorenih kanala preko dasaka.

Fransoa I je 1539. godine naredio svim vlasnicima poseda da u svim stambenim zgradama izgrade septičke jame za sakupljanje ljudskog otpada. Onima koji se nisu odazvali, konfiskovane su kuće, a rente su sakupljane za plaćanje septičkih jama. Većina ovih septičkih jama su građene kao propusne da bi se praznile što ređe, a nečistoća vode nije razmatrana sve do 19. veka. Njih su praznili čistači septičkih jama koji su transportovali ljudski otpad u buradima do deponije izvan grada. Septičke jame su ostale najrasprostranjeniji metod sve do kraja 19. veka i značajno su smanjile pojavu ljudskog otpada na ulicama.

Studija iz 1639. godine pokazuje da su sva 24 kolektora bila zapušena i ozbiljno oštećena. Luj XIII je pokazao malo interesa po ovom pitanju, a čak je i prisvojio taksu na vina koja je bila namenjena za održavanje kanalizacije. Održavanje kanalizacije nikada nije bilo jasno definisano i stavljeno u nečije nadležstvo, umesto toga su bili unajmljivani izvođači za čišćenje i održavanje samo otvorenih kanala. Do 1663. godine, jedna četvrtina od deset kilometara kanalizacije je bila pokrivena. Ovi slabo projektovani kolektori sa nedovoljno sačuvanim dokumentima o njihovim lokacijama bili su teški za čišćenje i zapušavali su se lako, pošto je voda dospevala u njih samo kada je padala kiša. Konstrukcija kanalizacije do 1820. godine je bila od grubo tesanog kamena i pravougaone osnove, što je izazivalo brzo zamuljivanje. Možda Pariz nije bio spreman za odgovornost održavanja pokrivena kanalizacije pa su mnogi smatrali da je potpuno odsustvo kanalizacije manje opasno po opšte zdravlje nego loše održavana kanalizacija. Bilo je mnogo kritike pariskog egoizma u poređenju sa "građanskim patriotizmom" starih rimljana, koji su održavali svoje kanalizacije i akvadukte.

Odredba iz 1721. godine nalaže da vlasnici poseda moraju da plate za čišćenje pokrivenih kolektora koji prolaze ispod njihovih zgrada. Vlasnici su iz ovoga zaključili da imaju pravo da sav svoj otpad bacaju u kanalizaciju time samo povećavajući problem i izazivajući da mnogi kolektori postanu blokirani. Po drugoj odredbi iz 1736. godine oni koji budu uhvaćeni da bacaju otpad u pokrivenu kanalizaciju biti kažnjeni da plate globu, a sluge će biti javno kažnjene. Slična odredba se pojavila ponovo 1755. godine, ali je ilegalno bacanje otpada nastavljeno.

Nedostatak adekvatnog održavanja izazvao je 1737. godine neuspeh projekta kanalizacije Turgota, oca ministra. On je konstruisao veliki rezervoar da bi obezbedio konstantan dotok vode u kanalizaciju, ugradio ustave za periodično ispiranje kanalizacije i projektovao visoke zidove sa pešačkim mostovima. Zemlja iznad kanalizacije je bila uklonjena za potrebe građenja i gajenja kultura. Luj XV je prisustvovao otvaranju 1740. godine, sa neuobičajenim interesovanjem. Ponovo su ilegalni korisnici izazvali zagušenje kanalizacije, i neizdrživ smrad se uskoro pojavio. Kanalizacija je napuštena 1779. godine, ubrzo posle smrti Turgot-a.

1.1.2.2. Pariska kanalizacija 1789 - 1900

Od sve brojnije radničke klase i "opasne" klase to jest proleterijata koji je ostao bez posla, po novim kapitalističkim teorijama Adama Smita, buržoazija je zazirala i plašila se tokom 19. veka. Narodne revolucije iz 1789., 1830. i 1848. godine ilustruju narodni protest i kontrolu nad političkim i socijalnim pitanjima. Pariz je imao oko pola miliona stanovnika početkom 19. veka. Do 1830. godine, populacija je dostigla milion, a do 1890. godine skoro dva miliona stanovnika. Industrijska revolucija je privlačila populaciju u urbane centre, stvarajući velika, prenaseljena sirotinjska naselja i skupe rezidencijalne zone. Sirotinja je živela u zgradama, koje su često bile izdelfeni napušteni domovi bogataša. Sobe su bile izdelfene, ponekad su dodavani i spratovi, čineći niske tavanice. Stepence su često bile obične merdevine. Voda je bila dostupna samo na ulicama, a mali broj je imao septičke jame. Kako je O. Du Mensil pisao 1878. godine, "... vlaga je bila trajna, ventilacija i osvetljenje nedovoljni, prljavština svuda, ... svetlarnici i dovodi vazduha su bili inficirani akumuliranjem smeća koje se raspadalo i ustajalom vodom od kiša i iz domaćinstava, toaleti, kada su i postojali bili su malobrojni a njihova prljavština zapanjujuća." Ovakvi uslovi života su pogodovali razvoju epidemija kolere i tuberkuloze koje su se širile sirotinjskim kvartovima u 19. veku.

U periodu od 1805 - 1817. godine inženjer Bruneseau je istraživao kanalizaciju Pariza za koju nisu postojale karte, u nadi da ih reformiše. Politička veza sa kanalizacijom je bila simbol "moralne dezintegracije i političkih potresa", kao što Viktor Igo kaže. Igoov izmišljeni lik, Bruneseau u "Jadnicima" je inženjer i istraživač. Politički, kanalizacija je smatrana opasnim mestom, pošto je bila izvan kontrole i tu su se skupljali neprijatelji države. Tokom 20.-ih i 30.-ih godina 19. veka, zdravstveni eksperti kao Parent-Duchalet analizirali su Montfaucon, kanalizaciju i prostituciju. Smatralo se da će naučno istraživanje ovih pojava učiniti da ljudi shvate da se otpad može razumno kontrolisati.

Epidemija kolere iz 1832. godine ubila je 20 000 parižana. Za zarazne bolesti koje se prenose vodom nije se znalo do 1850. godine, pa se smatralo da ih izazivaju odurni "miazmi".

Do 1826. godine pariska kanalizacija je bila u užasnom stanju, a održavalo ju je svega 24 radnika. Oni su odgušivali neodržavane kanalizacije kao što je Amelot, gde je stvrdnuti sadržaj dopirao do plafona. Radnici u kanalizaciji su kao rudari ašovima izvlačili sadržaj pazeći da ne podseku svod da ne bi pao krov. Pesak je bio još gori, jer se mogao odstraniti samo ručno. Ovo se radilo samo kada je organska materija bila unutra i to noću. Narodne bune iz 1830. i 1848. godine su bile inicirane protiv bogatih, lekara i države. Uspostavljena je veza između revolucije i zaraza, pa se verovalo da dobro održavana kanalizacija predstavlja preventivu i od zaraza ali i revolucije. Između 1832. i 1834. godine, 14 km kanalizacije je postavljeno. Ove kanalizacije su građene od kamena i cementnog maltera i imale su ovalno dno radi lakšeg ispiranja. Ovaj način građenja je bio jeftiniji, lakši i brži za izvođenje od prethodnog metoda. Do 1848. godine sistem kanalizacije je već bio dužine 96 km.

Higijeničari su zapazili da je smrtnost od kolere najviša u 20 % pariskih zona u kojima živi 50 % populacije, naročito na gradskom ostrvu i pokraj hotela de Ville. Služeći za dinastiju Burbon, grof de Rambuteau, prefekt Sene od 1833 - 1848, je započeo sa Haussmann-om zemljane radove. On je učinio da spoljne oblasti apsorbuju stanovništvo iz gusto naseljenog centra i učinio ulice čistijim praveći fontane, kanalizaciju, javne pisoare i hidrante. Monumentalni kvalitet ovih fontana je bio za javno dobro, velikodušni poklon urbane dobre volje smatrajući da i obična slavina može da služi isto dobro. Ove značajne građevine su, naposletku, snabdevale stanovništvo najvažnijom životnom supstancom - vodom. Javni pisoari su dobili nadimak po prefektu, i takođe su služili svojoj osnovnoj svrsi. Bilo je položeno 39 km glavnih cevovoda sa 217 hidranata koji su obezbeđivali konstantan dotok vode za ispiranje otvorenih kanala koji su postojali 1832. godine. Do 1850. godine je bilo postavljeno 358 km glavnih cevovoda i 1837 hidranta. Ovo je dovelo do razvoja trotoara i krovnih oluka po engleskom uzoru, koji su vodili do uličnih kanala.

Tokom 1844. godine zakonom je utvrđeno da policija bude nadležna za javno zdravlje. Uvedena je taksa u skladu sa dužinom fasade zgrade i služila je za čišćenje ulica. Ovo je pokazalo da je prisilno sprovođenje zakona lakše i mnogo efektivnije.

Revolucija iz 1848. godine je završila sa Napoleonom III na vlasti, kao kandidatom više srednje klase koja je imala značajnu moć. Od 1853. do 1870. godine, Haussmann prefekt Sene, transformisao je veći deo Pariza u skladu sa interesima srednje klase, iako je njegov proglas iz 1852. godine o obaveznom pranju fasada zgrada bio smatran socijalističkim od strane zemljoposjednika. Njegov plan je bio da sa sprovede sanitacija kroz otvoreni prostor, po cenu sistematskog rušenja starog dela grada. On i njegov inženjer Belgrand su finansirali ove projekte. Njegovi projekti se drugačije ne bi ni radili, a Pariz više nije mogao da ignoriše probleme čiste vode i kanalizacije. Udvostručio je vodosnabdevanje preko akvadukta Yonne, Vanne i Dhuis. Njihov projekat je bio pod jakim uticajem starih rimljana. Kao posledica ovih rešenja, posle 1850. godine epidemije kolere su postale mnogo ređe i manje obima.

Zgrade su bile priključene na dva dovoda vode, pijaće i tehničke (nepijaće). Rezervoari su bili konstruisani da povećaju pritisak do svih spratova zgrada. Kuhinja i kupatilo su bili odvojeni od ostalog dela stana zbog neprijatnog mirisa, ali su ove prostorije vraćene u celinu stana uspešnom integracijom vodovoda i kanalizacije. Rešavanje grube estetike ovih novih instalacija, inkorporiranih u postojeće zgrade, je izvedeno tako što su cevi bile postavljene kroz zadnji deo zgrada. Voda je isprva uvedena u kuhinje, jer se verovalo da zidne obloge mogu da izdrže vlagu. Uvođenje tekuće vode u kupatila je usledilo kasnije, u vreme Haussmann'a, jer su mnogi smatrali da su voda i hladne zidne obloge nezdravi. Rani toaleti su zapravo bili tankovi od livenog gvožđa povezani sa septičkim jamama, tradicionalni keramički toalet sa vodokotlićem se pojavio tek krajem 18. veka. Klasično kupatilo sa toplom i hladnom tekućom vodom je usavršeno početkom 20. veka.

Sasvim suprotan stav iz 1852. godine je propagirao da stanovi pored septičkih jama za otpadne vode moraju imati i direktan priključak na kanalizaciju. Haussmann je shvatio da svi stanovi moraju biti priključeni na kanalizaciju.

Belgrand je projektovao kanalizaciju sa prirodnim padom prema reci, od jugoistoka prema severozapadu, tako da gravitacija obavi najveći deo posla. Ova kanalizacija je imala pad od 3 cm na metar dužine da ne bi bila isuviše klizava za radnike na održavanju, i sve kanalizacione arterije su bile dovoljne visine da se u njima može uspravno raditi. Veće su imale i staze pored kinete. Kanalizacija je funkcionisala kao kapilarna mreža, prema velikim kolektorima, kojih je bilo pet krajem prošlog veka, koji su nosili otpad severno od grada. Ova kanalizacija se retko izlivala i prikupljala je samo vodu sa ulica i domaćinstava. Haussmann nije želeo da njegov rad bude kontaminiran ljudskim ekskretima. Održavanje kanalizacije je vršio veći broj radnika, a razvijene su i efektne metode čišćenja. Umesto stalnog priliva vode, periodično ispiranje kanalizacije je postignuto na više načina: ustavama, pokretnim kolicima i "čamcima", na čiji zadnji deo je bila zašrafljena metalna ploča u vertikalnom položaju kojom je sakupljan sadržaj, a ostatak je bivao ispran snažnim strujanjem. "Čamac" se kretao duž kanala pod pritiskom toka, a u početni položaj se vraćao manuelnim vučenjem unazad, što se i danas čini obzirom da motori mogu izazvati eksploziju.

Deponija kanizacionog otpada je 1850. godine premeštena još severnije iz Montfaucon-a u Bondy. Složeni transport otpada iz septičkih jama je zahtevao da čistači septičkih jama prazne burad kod La Villette. Odatle je čvrsta faza, u hermetički zapečaćenim kontejnerima, brodom dopremana a tečna faza je cevovodom sprovedena u Bondy. Ovakav način transporta se zadržao sve do 1870. godine kada je deponija Bondy popunila svoje kapacitete. Od 100 000 m³ čvrstog otpada, jedna trećina je bivala razgrađena a jedna trećina jednostavno isprana u Senu. Deponije na periferiji su napravljene uz profitabilne aranžmane sa gradom. Dvadeset i četiri deponije na periferiji je postojalo 1880. godine, od kojih su mnoge stvarale amonijum sulfat, čiji smarad je dopirao do svih delova Pariza. Međutim, za smrad je bila optuživana kanalizacija a ne pravi krivci.

Tokom 60.-ih godina 19. veka, kola sa konjskom vučom su počela da sakupljaju đubre sa trotoara. Do 70.-ih godina sav kućni otpad je bacan na ulicu u vremenu između 8 i 9 uveče i sakupljan narednog jutra. Ukazom iz 1870. godine utvrđeno je da se đubre iznosi ujutro.

Pariska kanalizacija je otvorena za javnost za vreme izložbe Expo 1867. godine. Ove popularne ture su se odigravale u luksuznim kanizacionim kolicima i čamcima koje su gurali zaposleni u kanalizaciji odeveni u bela odela. Posetioci su na ovim turama nosili svoju lepu odeću obzirom da je kanalizacija bila čista. Atrakcija ovih savremenih tehnoloških konstrukcija, ne više izvora odvratnosti i straha, predstavljala je vladu koja je ih je prikazala kao oličenje reda i razuma. Ture po kanalizaciji se nastavljaju i danas, ali ponižavajuća praksa korišćenja zaposlenih u kanalizaciji kao motora, završila se početkom 20. veka. Javne ture po katakombama započele su 1874. godine. Veštački osvetljene fotografije kanalizacije i katakombi čuvenog pariskog fotografa Feliksa Nadara iz 60.-ih godina prošlog veka ilustruju fascinaciju ovim novim okruženjima (Atrakcija ovih motiva može izgledati čudna današnjim posmatračima). Tehnika fotografisanja je u tolikoj meri bila eksperimentalna, da je samo snimanje moglo da traje i dvadeset minuta, tako da je bilo neophodno koristiti lutke umesto ljudi.

Tokom 1867-68. godine Mille i Durand-Claye su započeli testiranje tretmana kanalizacije filtracijom i irigacijom uz neverovatne rezultate. Mnogi ljudi, uključujući i Belgrand-a, su favorizovali hemijski tretman kanalizacije. Filtracija je bila značajna, ali Belgrand je smatrao da je irigacija bila preskupa da bi se "pođubriло nekoliko stotina hektara". Mille i Durand-Claye su premestili svoju operaciju u Gennevilliers pošto su dobili sredstva. Francusko - Pruski rat je naglasio potrebu za snabdevanjem hranom iz neposredne blizine naselja, što je zahtevalo čišćenje Sene. Korišćenjem kanizacionog otpada, postiglo se da se na peskovitom neplodnom zemljištu proizvedu neverovatno raznovrsne kulture, uključujući čak i aromatične biljke za parfeme. Kanalizacija je činila zemlju toplijom zimi, što je produžavalo sezonu, i sprečavalo smrzavanje po hladnoći. Ovaj metod je postao osnovni metod tretmana kanalizacije sve do kraja dvadesetih godina ovoga veka. Toksični industrijski otpad i odbijanje buržoazije da dozvoli korišćenje kanizacionog otpada u poljoprivrednoj proizvodnji u perifernim zajednicama, sprečili su razvoj ove vrste korišćenja.

Sedamdesetih godina 19. veka, prisustvo čistača septičkih jama se više nije tolerisalo. Inženjeri, uključujući Mille-a i Durand-Claye-a, su insistirali na principu "tout-a-l'égout" (sve u kanalizaciju). Ovakav pristup je već primenjivan u Briselu, Londonu i Berlinu. Haussmann je znao da je to neizbežno, ali nije želeo da se njegov projekat zaprlja fecesom i urinom. Razlozi za i protiv su se sukobljavali tokom 70.-ih i 80.-ih godina 19. veka. Protiv su bile kompanije za čišćenje septičkih jama i veći deo medicinskog establišmenta. Luj Paster je zagovarao ispuštanje u more, pošto se tretmanom nije uništavao dovoljan broj mikroorganizama. Drugi su smatrali da je kanalizacioni sistem bio veliki i spor za ljudski otpad, što bi zagadilo i inficiralo vazduh "miazmima" koji izazivaju zarazu (za smrad sa deponija je tokom 80.-ih godina 19. veka krivljena kanalizacija).

Tokom 1883. godine je propisano da opremljene zgrade moraju imati jedan toalet na dvadeset ljudi. Voda za individualne jedinice je i dalje bila luksuz. Radnici su živeli u prljavštini, pošto su javna kupatila i perionice rublja bile preskupe. Kupatila i tuševi za smeštaj radnika su smatrani kontraverznim početkom 20. veka.

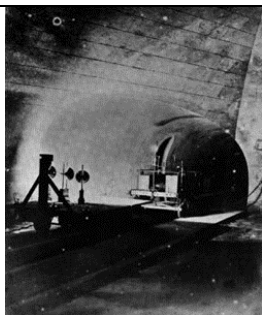
Eugene Poubelle je postao prefekt Sene 1884. godine i doneo je konačne zakone o sakupljanju đubreta i čišćenju ulica, i doradio uredbe o čišćenju ispred zgrada i zabrani bacanja đubreta kroz prozor. Poubelle je ova pravila i dalje značajno unapredio. Ljutiti zemljoposjednici su u znak osвете dali njegovo ime kanti za đubre.

Ova unapređenja u sanitaciji su dovela do opštoj kontroli epidemija. Tifus i kolera su bili sa mnogo manjim stepenom smrtnosti, ali je tuberkuloza i dalje bila u porastu (11 023 ljudi je umrlo 1881. godine, 12 376 ljudi je umrlo 1894. godine). Tuberkuloza je bila jedina zarazna bolest direktno uzrokovana stanjem u zgradama. Prenaseljena, nehigijenska sirotinjska naselja, nedostatak sunca zbog uskih ulica i visokih zgrada izazivali su zarazu koja se širila sa povećanjem naseljenosti. Tokom 1883. godine je izašao proglas da u stambenim zgradama mora postojati jedan toalet na 20 ljudi.

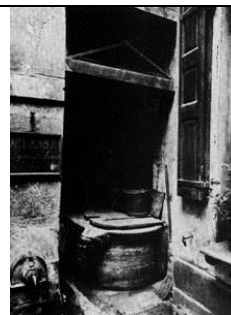
Poslednja velika pojava kolere 1892. godine podigla je javnu podršku za princip "sve u kanalizaciju". Poubelle je izdao proglas da zemljoposjednici moraju da obezbede kanalizaciju za ispuštanje ekskremenata i da moraju da plate za usluge. Tokom 1899. godine zaobilazni glavni kolektor je bio zatvoren, čime je prestalo odlaganje netretiranog kanalizacionog otpada u Senu.

Za transformaciju mišljenja od "sve na ulicu" do "sve u kanalizaciju" je trebalo pet stotina godina. Pogodnosti sveže vode, kanalizacije i sakupljanja đubreta doveli su do opšteg poboljšanja zdravlja i uslova života, i učinili grad čistijim i zabavnijim, a romantična nostalgija za prošlim vremenima veoma često zaboravlja na nepodnošljivi smrad koji je tada vladao.

U nastavku su prikazane fotografije delova sistema pariske kanalizacije iz prošlog veka. Priložene fotografije su uradili: Felix Nadar (1820-1910), Eugene Atget (1856-1927) i Marville, poznati francuski fotografi koji su dokumentovali svakodnevne ali i neuobičajene prizore gradskog života u Parizu krajem 19. i početkom 20. veka.



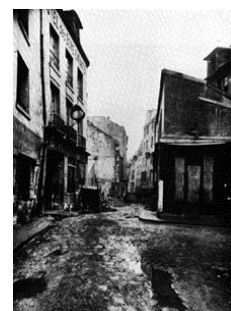
Slika 2 - Nadarova fotografija kanalizacije iz 1861. godine (veštački osvetljena)



Slika 3 - Fotografija Eugena Atgeta iz 1900. god. na kojoj se vidi septička jama u ulici Rue du Figuiet



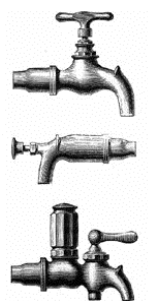
Slika 4 - Marvillova fotografija uličnog pisora iz 1873. godine



Slika 5 - Fotografija ulice Rue St Medard iz 1900. godine, koju je uradio Eugene Atget



Slika 6 - Eugene Atgetova fotografija ulice Rue des Rennes iz 1900. godine, stari tip ulice bez izdignutog trotoara i sa rigolom za kanalizaciju postavljenom po sredini ulice

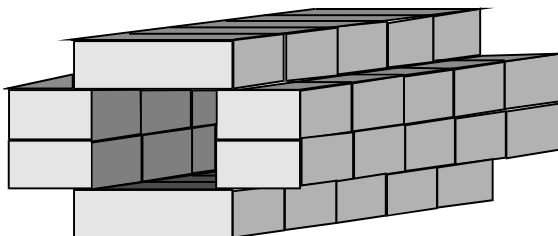


Slika 7 - Najstariji tipovi slavina iz Diderotove enciklopedije

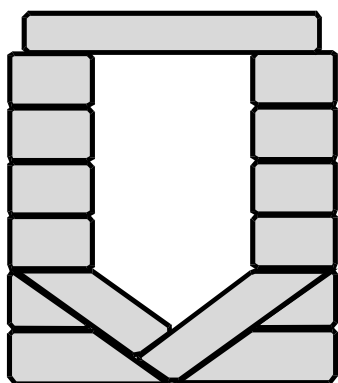


Slika 8 - Najstariji tipovi kada i toaleta iz enciklopedije

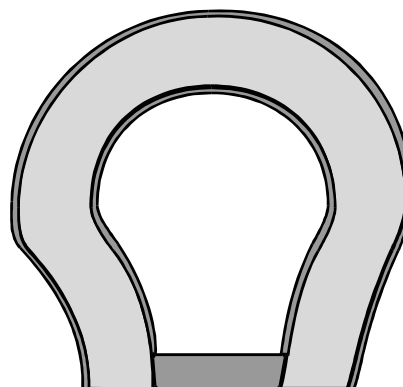
1.1.3. RAZLIČITI MODELI KANALIZACIONIH KONSTRUKCIJA - ISTORIJSKI RAZVOJ



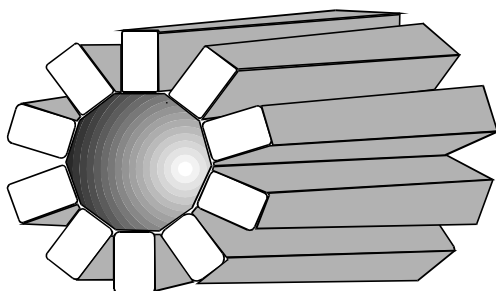
Slika 9 - Kućni odvodnik od ravno postavljenih cigala koji je načešće postavljan bez nagiba dna. Nepostojanje nagiba u dnu dovodi do gomilanja kanalizacionog sadržaja i na kraju do potpunog zagušenja



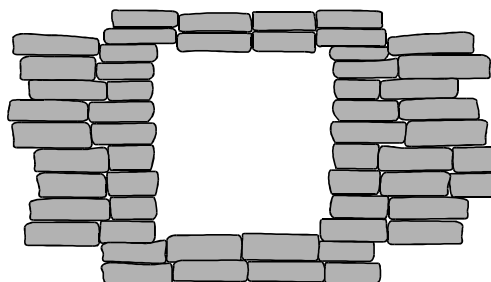
Slika 10 - "Kombinovani" kolektor sa dnom u obliku slova "V" obezbeđuje bolje hidrauličke uslove na dnu za "čišćenje" odnosno pronos suspendovanih materija



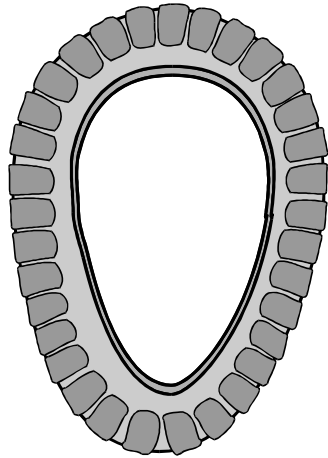
Slika 11 - Kanalizacioni odvodnik pokriven potkovičastim pokrivačem polaže se plitko u zemljište bez dna čime se dozvoljava infiltracija kanalskog sadržaja u tlo



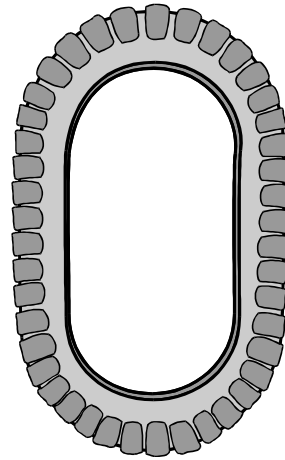
Slika 12 - Uobičajena forma kućnog odvodnika cilindričnog oblika od cigala



Slika 13 - Najčešće korišćena forma i konstrukcija septičke jame



Slika 14 - Rani izgleda kanalizacionog kolektora jajastog oblika. Geometrija jajastog kolektora ima najbolje hidruličke karakteristike



Slika 15 - Rani izgleda kanalizacionog kolektora ovalnog oblika. Kolektor ovalnog oblika ima dobar prijemni i transportni kapacitet u uslovima opšteg kanalizacionog sistema

2. OTPADNE VODE URBANIH SREDINA

Pod otpadnim vodama podrazumevaju se sve one vode koje nakon upotrebe menjaju svoje fizičke, hemijske i biološke osobine, povećavaju sadržaj primesa, koloida i rastvora, koji mogu biti organskog ili mineralnog porekla.

Otpadne vode delimo po njihovom nastanku na tri osnovne kategorije: otpadne vode domaćinstva, otpadne vode industrije i na atmosferske otpadne vode. Otpadna voda je zagađena raznim materijama koje se u njoj nalaze u obliku koloida i suspenzija. Zato otpadne vode imaju drugačije fizičko hemijske karakteristike u poređenju sa čistom vodom.

2.1. KOMUNALNE OTPADNE VODE - SASTAV I POREKLO

Otpadne vode iz domaćinstva se često javljaju u obliku nestabilnih polidisperznih sistema, koji u zavisnosti od razmere čestice mogu biti različiti, i to od grubih do visokodisperznih, pri čemu je sadržaj koloidnih materija u sistemu veliki. Zagađenje otpadnih voda karakteriše koncentracija različitih materija (po sastavu) koje se nalaze u jedinici zapremine. Koncentracija otpadnih voda se izražava u mg/l (ili ista brojna vrednost u g/m³).

Otpadna voda iz domaćinstva, komunalna otpadna voda, sastoji se od tečnosti i čvrstih materija koje mogu biti u rastvorenom ili suspendovanom stanju. Količina čvrstih materija u komunalnoj otpadnoj vodi je vrlo mala, obično ispod 0.1 % po težini. Čvrste otpadne materije mogu biti podeljene u dve opšte grupe u zavisnosti od njihovog sastava ili njihovog fizičkog stanja. Na ovaj način čvrste materije delimo na organske i neorganske materije.

Organske čvrste materije - su, uglavnom materije životinjskog ili biljnog porekla uključujući i otpadne produkte životinja i bilja kao i tkiva životinja i biljka. Glavne grupe materija su belančevine, ugljeni hidrati i masti zajedno sa produktima njihovog raspadanja, koji nastaju aktivnošću bakterija i drugih živih organizama.

Mineralne (neorganske) čvrste materije - su inertne materije koje nisu podložne raspadanju. U mineralne čvrste materije spadaju: pesak, mulj, šljunak, i mineralne soli. Količina svih čvrstih materija, organskih i mineralnih, u otpadnoj vodi određuje njen kvalitet. Nestabilne otpadne vode su one koje sadrže veliku količinu čvrstih materija naročito organskih, dok se otpadna voda sa malo organskih čvrstih materija može okarakterisati kao stabilna.

Suspendovane čvrste materije - su čvrste materije koje mogu biti uklonjene iz otpadne vode fizičkim ili mehaničkim putem, kao na primer taloženjem ili filtracijom. Tu spadaju: plivajuće čestice, pesak, šljunak, glina, čvrste izlučevine, hartija, delovi vune, delovi hrane i slično. Suspendovane čvrste materije sastoje se od taloživih i koloidnih čvrstih materija. Sadrže oko 70% organskih i oko 30 % neorganskih čvrstih materija (uglavnom peska i šljunka).

Taložive čvrste materije predstavljaju delove suspendovanih materija, čija je veličina i težina takva da se mogu taložiti. Nihova prisutnost u otpadnoj vodi se obično izražava u miligramima čvrste materije na 1 liter kanalske vode (mg/l). Taložive čvrste materije sadrže oko 75 % organskih i oko 25 % neorganskih čvrstih materija.

Koloidne suspendovane materije - su materije koje se ne mogu ukloniti fizičkim ili mehaničkim sredstvima. One obuhvataju otprilike 2/3 organskih i 1/3 neorganskih materija. Podložne su brzom truljenju i igraju veoma važnu ulogu u tretiranju i dispoziciji komunalnih otpadnih voda. Sadrže oko 40 % ukupne količine suspendovanih čvrstih materija.

Rastvorljive čvrste materije - ovaj termin nije potpuno adekvatan, jer sve ove čvrste materije nisu u pravom rastvoru, one sadrže i neke materije u koloidnom stanju. Od ukupne količine rastvorljivih čvrstih materija oko 9 % su u pravom rastvoru a 10 % su u koloidnom stanju. Rastvorljive čvrste materije, u celini sadrže oko 40 % organskih i oko 60 % neorganskih čvrstih materija.

Ukupna količina čvrstih materija - u običnoj tpadnoj vodi iz domaćinstva ima oko 50 % organskih i oko 50 % neorganskih čvrstih materijala od čega oko 2/3 u rastvoru i 1/3 u suspenziji.

Prosečni sastav otpadne vode je definisan po raznim autorima i istraživačima na različit način. U nastavku se daje pregled nekoliko tipičnih sastava otpadnih voda. Prema određenim istraživačima količine nečistoće računata po stanovniku na dan sa specifičnom potrošnjom vode koja iznosi 150 litara po stanovniku na dan se može približno usvojiti na način prezentovan u tabeli 2.1.1 i 2.1.2.

Tabela 2.1.1. - Prosečan sastav otpadne vode separatne kanalizacije u (g) po stanovniku na dan

Vrsta materijala	Mineralne	Organske	Ukupno	BPK ₅ pri 20 °C
Suspendovane	25	65	90	42
a) taložive	15	39	54	19
b) netaložive	18	26	36	23
Rastvorene	80	80	160	12
UKUPNO	105	145	250	54

Tabela 2.1.2. - Prosečan sastav otpadne vode separatne kanalizacije u mg/l

Vrsta materijala	Mineralne	Organske	Ukupno	BPK ₅ pri 20 °C
Suspendovane	170	430	600	280
a) taložive	100	260	360	130
b) netaložive	70	170	240	150
Rastvorene	530	530	1 060	80
UKUPNO	700	960	1 660	360

Nemački inženjer Dr. ing. Karl Imhof je u svom izuzetnom delu Priručnik za kanalisanje gradova (TASCHENBUCH DER STADTENTWASSERUNG - Essen 1948.) dao sastav komunalne otpadne vode jednog nemačkog grada, bez zagađenja industrijskim otpadnim vodama, (tabela 2.1.3.) kao 24-časovni prosek zagađenja u mg/l odnosno (g/m³).

Tabela 2.1.3. - Prosečan sastav otpadne vode separatne kanalizacije u mg/l

Vrsta materijala	Mineralne	Organske	Ukupno	BPK ₅ pri 20 °C
Taložive suspenzije	130	270	400	130
Netaložive suspenzije	70	130	200	80
Rastvorene materije	330	330	660	150
UKUPNO	530	730	1 260	360

Pod "organskim" materijama podrazumevaju se materije koje prilikom žarenja izgore, pod "mineralnim" materijama ostatak u vidu pepela. "Potreba u kiseoniku (BPK₅)" potiče od organskih materija. Vrednosti prezentirane u tabeli 2.1.3. važe za potrošnju vode od 150 l po stanovniku na dan. To je bila prosečna potrošnja za srednjoevropske gradove (podatak iz 40-tih godina XX veka). U sastavu norme za potrošenu vodu uračunate su i sprane materije od fekalija. Fekalije i mokraća čine po Viehl-u 45%, po Zunker-u 83% i prema Serp-u iz američkih podataka 64% od ukupne količine organskih materija u upotrebljenoj odnosno komunalnoj otpadnoj vodi.

OTPADNE VODE - OPŠTE ODREDBE

Ako je potrošnja vode veća ili manja od 150 l/stanovniku na dan biće i komunalna otpadna voda u odgovarajućoj meri bistrija ili gušća, jer količina nečistoće po stanovniku raste neznatno s porastom potrošnje vode. Razblaženje vode obično povećava količinu netaložljivih i rastvorenih materija u odnosu na taložljive. Valja napomenuti da se jedan deo rastvorenih materija naročito mineralnog porekla, nalazi u čistoj vodi iz vodovodne mreže.

U Sjedinjenim Američkim Državama potrošnja vode je 2 do 4 puta veća nego u Evropi i upotrebljena voda je bistrija.

Količine nečistoće računane po stanovniku na dan, različite su s obzirom na životne navike i standard stanovništva. Za nemačke i evropske prilike mogu se po Imhofu koristiti prosečne vrednosti koje su prikazane u tabeli 2.1.4.

Tabela 2.1.4. - Prosečan sastav otpadne vode računat u (g) po stanovniku na dan

Vrsta materijala	Mineralne	Organske	Ukupno	BPK ₅ pri 20 °C
Taložive suspenzije	20	40	60	19
Netaložive suspenzije	10	20	30	12
Rastvorene materije	50	50	100	23
UKUPNO	80	110	190	54

U Severnoj Americi vrednosti su veće, tako da navedena vrednost od 54 grama po stanovniku na dan važi samo za potrebu u kiseoniku za separatan sistem kanalizacije, ali ako kanalska mreža prima i kišnicu sa spranom nečistoćom sa ulica, računa se sa 74 grama po stanovniku na dan.

Poznajući činjenicu da je potrošnja vode u naseljenim mestima različita, koncentracija otpadnih voda je potpuno nejednolika. Po ruskom autoru B. O. Botuk-u navodi se sastav upotrebljenih voda iz domaćinstva po količini lebdećih materija u zavisnosti od normi potrošnje vode po jednom stanovniku na dan (tabela 2.1.5.)

Iz table 2.1.5. se vidi da koncentracija otpadnih voda po količini lebdećih materija, preračunata po jednom stanovniku dostiže 60 do 80 grama na dan. Od ove količine po S. N. Stroganovu, frakcije koje se talože su u količini od oko 35 do oko 50 g/dan.

Tabela 2.1.5. - Količina lebdećih materija u otpadnim vodama domaćinstva u zavisnosti od norme vodosnabdevanja

Pokazatelji zagađenja	Norma potrošnje vode - litara po stanovniku na dan				
	50	100	150	200	250
Količina lebdećih materija u mg/l	1000	500	333	250	200
Ostatak zapreminski (97.5 % vode, nakon 2 sata taloženja u %)	2.8	1.4	0.9	0.7	0.56

U Sjedinjenim Američkim Državama u naseljenim mestima gde nema industriskih pogona, gde norma potrošnje vode iznosi 300 l/stanovniku na dan, količina lebdećih materija iznosi oko 105 g/dan. U Velikoj Britaniji količina rastvorenih materija dostiže 122 g/dan po stanovniku, a u Nemačkoj 90 l/dan po stanovniku

Sastav zagađenja u otpadnim vodama u gradovima Rusije no Fedorovu i u nekim drugim zemljama prikazan je u tabeli 2.1.6.

Tabela 2.1.6. - Sastav čvrste faze otpadnih voda u gradovima Rusije i u drugim zemljama

Zemlje	Sastav čvrste faze otpadne vode u %							
	grubo disperzne (lebdеće) materije				koloidne rastvorene materije		pravi rastvori	
	ukupno		ukupno ¹		ukupno			
SSSR - po Stroganovu	40	30	20	15	10	8	50	20
Petrovgrad	35	27	15	11	25	10	40	4
SAD	37.5	25	19	12.5	6.5	5	56.0	20
Nemačka	47.4	31.5	31.5	21	-	-	52.6 ⁽²⁾	26.3

⁽¹⁾- U toj količini se istaložilo (nakon 2 sata taloženja)

⁽²⁾- Koloidne materije su uključene u prave rastvore

Vidi se da je količina koloida kod otpadnih voda domaćinstva znatno veća nego što je to publikovao S. N. Stroganov. Koloidni sistem kod otpadnih voda obrazuju i liofobni i liofilni koloidi. Koncentracija otpadnih voda u kojima se nalaze otpadne vode iz domaćinstva i otpadne vode iz proizvodnje, može se odrediti prema formuli:

$$k_{sr} = \frac{k \cdot Q + \sum k_n \cdot Q_n}{Q + \sum Q_n}$$

k - koncentracija otpadnih voda iz domaćinstva

k_n - koncentracija otpadnih voda koje nastaju u proizvodnim pogonima

Q - protok otpadnih voda iz domaćinstva (l/s)

Q_n - protok otpadnih voda koje nastaju u proizvodnim pogonima

Iz iznetog se vidi da je otpadnu vodu potrebno proučavati kao jedinstvenu tečnost. U nastavku će se prikazati rezultati fizičko hemijskih i bakterioloških sastava otpadnih voda iz domaćinstva (tabela 2.1.7.).

Tabela 2.1.7. - Hemijski sastav otpadnih voda iz domaćinstava nekih gradova

Parametri	Moskva	Harkov	Tula	Kiev
Lebdеće materije pri 105 °C (mg/l)	455	704	493	520
Hloridi (mg/l)	182	287	176	213
Azot (amonijum) kao N (mg/l)	66	93	33	53
Moć oksidacije (O) (mg/l)	91	72	143	152
Sulfati (SO ₃) (mg/l)	69	-	400	-
Fosfati (P ₂ O ₅) (mg/l)	17.8	-	-	-
Talog (cm ³ /l)	8.9	-	10.8	-

Na osnovu analize različitih dnevnih potreba u vodi, prikazana je norma za sastav otpadnih voda iz domaćinstva (tabela 2.1.8.).

Otpadne vode iz domaćinstva iz kanalizacione mreže Vasiljeskog ostrva u Petrovgradu, gravitaciono dolaze na crpnu stanicu gde se ujedno nalazi i opitna stanica. Istraživači su vršili istraživanja na ovoj opitnoj stanici, a rezultati su pokazali da tokom dana varira stepen zagađenosti sadržaja u kanalizacionoj mreži. Noću i rano ujutru otpadna voda ima najmanje zagađenje. Između 11 i 12 časova zagađenje dostiže najveću vrednost, zatim opada između 12 i 24,

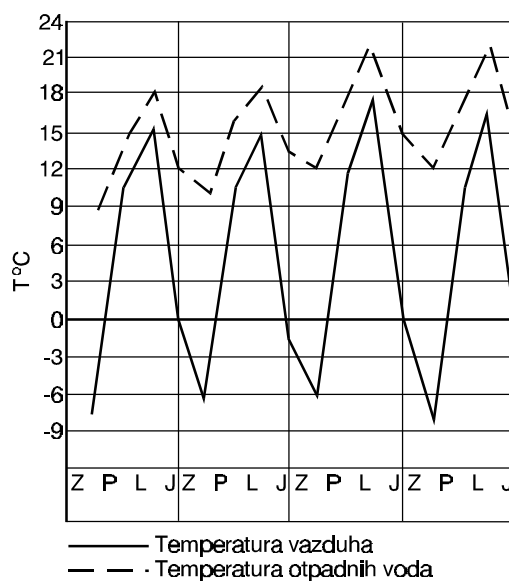
a nakon 24 časa se ustaljuje. U zimskom periodu koncentracija otpadnih materija je viša nego u letnjem jer se potrošnja vode po stanovniku smanjuje u zimskom periodu.

Tabela 2.1.8. - Sastav otpadnih voda iz domaćinstava u nekim gradovima

Parametri	Količina u gramima po jednom čoveku na dan
Lebdeće materije pri 105 °C	35 - 50
Azot (amonijum) kao N	7 - 8
Hloridi	8.5 - 9.0
Fosfati (P ₂ O ₅)	1.5 - 1.8
Kalijum	3.0
Moć oksidacije	5.0 - 7.0
BPK ₅	30 - 50
Talog sa sadržajem vode 97.5 %	1.4 - 1.9

Promena temperature otpadnih voda po godišnjim dobima u kanalizacionom sistemu prikazana je na grafiku na slici 17.

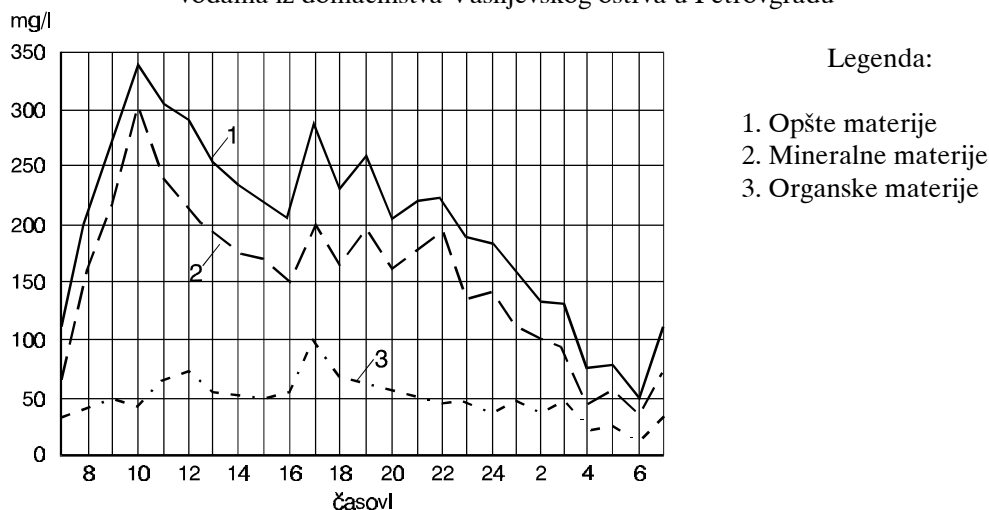
Slika 17. - Grafik promena temperature otpadnih voda tokom godišnjih doba



1. Količina suspendovanih materija mnogo varira tokom dana. Na dijagramu 1.3.10. se vidi da je najveći sadržaj između 7 i 24, a pri tome je najveća vrednost izmerena u 10 časova i iznosila je 340 mg/l.
2. Količina suvog ostatka u komunalnim vodama je stabilnija nego količina lebdećih materija. Ističe se da i u suvom ostatku pri njegovom sadržaju od 238.3 do 425.3 mg/l preovlađuje organski deo koji iznosi od 130.3 do 246.3 mg/l.
3. Sadržaj hlorida po satima u toku dana veoma varira. Granična zasićenost se javlja između 9 i 13 časova. Tokom ostalog vremena količina hlorida održava se na nivou od oko 75 mg/l i snižava se do minimuma (35 - 40 mg/l) između 5 i 6 časova.
4. Moć oksidacije organskih materija tokom dana ima zanačajno kolebanje od 30 do 90 mg/l.

5. Petodnevna biološka potrošnja kiseonika BPK_5 , najmanja je ujutru (70 mg/l), između 11 i 13 dostiže vrednost od oko 200 mg/l.
6. Vode koje dolaze na opitnu stanicu su slabo alkalne, i to 2.6 do 4.5 cm³ normalnog rastvora hlorovodonične kiseline.
7. Količina taloživih lebdećih materija određena je uz pomoć cilindra Lisenko tokom 5, 15, 30, 60 i 120 minuta. Dinamika taloženja lebdećih materija definiše karakteristike otpadnih voda koje sadrže veliki deo organskih materija.

Slika 18. - Analiza hemizma srednje časovne količine rastvorenih materija u otpadnim vodama iz domaćinstva Vasiljevskog ostrva u Petrovgradu



Pri srednjoj normi potrošnje vode kod Vasiljevskog ostrva u Petrovgradu koja iznosi oko 200 l/stanovniku na dan, zagađenje karakterišu sledeći podaci (tabela 2.1.9.):

Tabela 2.1.9. - Karakteristike zagađenja otpadnih voda Vasiljevskog ostrva u Petrovgradu

Karakteristike zagađenja	(g/stanovniku na dan)
lebdeće materije pri 105 °C	39.8
azot iz amonijaka	7.6
hloridi	13.8
moć oksidacije	8.0
BPK_5	22.4
talog po zapremini	3.3

Poređenje ovih podataka sa podacima S. N. Stroganova, koji su prikazani u narednoj tabeli daje sledeći zaključak: Upotrebljene otpadne vode iz domaćinstava Vasiljevskog ostrva u Petrovgradu, se svrstavaju u kategoriju otpadnih voda sa srednjom koncentracijom. Zanimljivo je i poređenje sastava otpadnih voda Moskve i Petrovgrada tabela 2.1.10.

Tabela 2.1.10. - Poređenje podataka o zagađenju otpadnih voda iz domaćinstva Moskovske i Petrovgradske kanalizacije

Osnovni sastojci otpadnih voda	Glavni kanal Moskovske kanalizacije	Petrovgradska kanalizacija	
		Kolektor za otpadnu vodu iz domaćinstva	Kolektor za opštu kanalizaciju centralnog gradskog jezgra
Prozračnost (cm)	4.3	4.1	-
Lebdeće materije mg/l			
ukupne pri 105 ° C	214	198	216
gubici pri žarenju	103	194	122
Gusti ostatak u mg/l			
ukupne pri 105 ° C	457	357	354
gubici pri žarenju	103	194	122
pH	7.35	7.21	7.6
hloridi u mg/l	88	69	73.4
Azot ukupni u mg/l	44	22.5	51.2
Azot amonijačni mg/l	34	18.0	35.5
BPK ₅ u mg/l	146	112	-
Talog po zapremini	3.4	3.3	3.52

Otpadne vode Petrovgradske kanalizacije po svom fizičko hemijskom sastavu su tipične otpadne vode iz domaćinstva i iz opšteg sistema kada nema kiše.

Tabela 2.1.11. - Zagađenje komunalnih otpadnih voda u nekim zemljama

Zemlja	Količina vode	BPK ₅	SM	Mreža
	l/ES na dan	g/ES na dan	g/ES na dan	
Belgija	100-150	54-65	90	odvojena
Holandija	100	54-65	90	odvojena
Švedska	200-350	75-100	90	
Švajcarska	300-500	80	100	jedinstvena
USA	380	80	90	odvojena
zemlje u razvoju	80-120	35-60	50-70	

U tabeli 2.1.11. prikazani su podaci o pokazateljima zagađenja u raznim zemljama, a u tabeli 2.1.12. prikazan je tipičan sastav otpadne vode iz domaćinstva - komunalne otpadne vode.

Tabela 2.1.12. - Tipičan sastav otpadne vode iz domaćinstva

Sastojak	Koncentracija (mg/l)		
	jaka	srednja	slaba
ukupni suvi ostatak	1 200	720	350
ukupni rastvoreni ostatak	850	500	250
- mineralni	(525)	(300)	(145)
- volatilni	(325)	(200)	(105)
ukupne suspendovane materije	350	220	100
- mineralni	(75)	(55)	(20)
- volatilni	(275)	(165)	(80)
taložljive materije	20	10	5
BPK ₅	400	220	110
ukupni organski ostatak	290	160	80
HPK	1 000	500	250
azot, kao N	85	40	20
- organski N	(35)	(15)	(8)
- NH ₄	(50)	(25)	(12)
- NO ₂ ⁻	-	-	-
- NO ₃ ⁻	-	-	-
fosfor, kao P	15	8	4
- organski P	(5)	(3)	(1)
- neorganski P	(10)	(5)	(3)
hloridi ⁽¹⁾	100	50	30
alkalnost, kao CaCO ₃	200	100	50
masti i ulja	150	100	50

(1) - vrednost se uvećava za sadržaj hlorida u vodi za piće

O primeni vrednosti iz navedenih istraživanja treba u svakom konkretnom slučaju dobro razmisliti, jer od njih polaze i zavise svi proračuni !!!

Rastvoreni gasovi -komunalna otpadna voda sadrži u sebi i rastvorene gasove različitih koncentracija. Među najvažnijim gasovima je kiseonik koji se nalazi rastvoren u vodi iz vodovodnog sistema i kao takav dospeva u otpadnu vodu. Izvesna količina kiseonika apsorbuje se iz vazduha u dodiru vazduha sa površinom komunalne otpadne vode (u kanalizacionom sistemu), kao i fotosintezom. Pored rastvorenog kiseonika otpadna voda može sadržati i druge gasove: ugljen - dioksid, koji nastaje razlaganjem organskih materija u otpadnoj vodi, zatim azot iz atmosfere, sumpor - vodonik, koji nastaje razlaganjem organskih i nekih neorganskih sumpornih jedinjenja. Ovi gasovi, mada se nalaze u malim količinama, igraju veoma važnu ulogu u razlaganju i tretiranju čvrstih materija u otpadnoj vodi.

Biološki sastav otpadne vode - komunalna otpadna voda sadrži veliki broj živih organizama. Prisustvo ovih organizama kao prirodni - živi deo organskih materija u kanalskoj vodi igra važnu ulogu. Mikroorganizmi koji se nalaze u otpadnoj vodi su važni jer su oni jedan od razloga zbog čega se vrši prečišćavanje otpadnih voda a sem toga od njihovih aktivnosti (razlaganja materija) zavisi i uspeh prečišćavanja. Mikroorganizmi se mogu podeliti u dve opšte grupe: na bakterije i na druge kompleksne mikroorganizme.

Bakterije su živi organizmi, mikroskopskih veličina. Kao i svim živim organizmima, i bakterijama je potrebna hrana, kiseonik i voda, i mogu egzistirati samo u sredini koja im to obezbeđuje. Rezultat njihovog životnog procesa jesu otpadni produkti. Bakterije mogu biti podeljene u dve grupe: parazite i saprofile. Sve ove bakterije obavljaju razgradnju organskih čvrstih materija u otpadnoj vodi, pri čemu zahtevanju, pored hrane, i kiseonik. Neke od bakterija mogu koristiti samo rastvoreni kiseonik u vodi. Ovi organizmi se zovu aerobne bakterije a proces degradacije organskih čvrstih materijala koji one obavljaju zove se AEROBNO RAZLAGANJE. Ovaj tip razlaganja u prisustvu rastvorenog kiseonika, obavlja se bez stvaranja neprijatnog mirisa ili lošeg izgleda otpadne vode.

Drugi tip bakterija ne može da opstane u prisustvu rastvorenog kiseonika u vodi nego zahteva kiseonik koji se dobija razlaganjem organskih i nekih neorganskih čvrstih materija. To su anaerobne bakterije, a sam proces degradacije organskih čvrstih materija zove se ANAEROBNO RAZLAGANJE, odnosno razlaganje materija bez prisustva rastvorenog kiseonika usled čega dolazi do stvaranja neprijatnog mirisa i lošeg izgleda otpadne vode.

U razgrađivanju organskih materija izvesni aerobni tipovi bakterija mogu se prilagoditi tako da žive bez prisustva rastvorenog kiseonika. To su fakultativne aerobne bakterije. Isto tako neki varijeteti anaerobnih bakterija mogu se prilagoditi da žive i rastu u prisustvu rastvorenog kiseonika: to su fakultativno anaerobne bakterije.

Na osnovu svega poznatog može se konstatovati da komunalne otpadne vode sadrže uglavnom zagađenje organskog porekla. Takva zagađenja u okviru sekundarnog prečišćavanja efikasno se odstranjuju biološkim prečišćavanjem.

2.2. INDUSTRIJSKE OTPADNE VODE

Kod gradskih kanalizacionih sistema za sakupljanje, preradu i evakuaciju otpadnih voda javljaju se dve, prema tipizaciji problematike odvojene grupe otpadnih voda:

- komunalne otpadne vode
- industrijske otpadne vode

Komunalne otpadne vode su sezonski ustaljene, kako po prosečnom dnevnom hidrauličkom i organskom opterećenju i sastavu, tako i po udarnim (vršnim) opterećenjima, za jednu urbanu sredinu. Prikupljanje podataka i proračun hidrauličkog i organskog opterećenja komunalnih otpadnih voda se mogu dovoljno dobro uraditi, tako da se procena parametara postrojenja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda može uspešno postaviti u svakoj urbanoj sredini sa izgrađenim kanalizacionim sistemom.

Industrijske otpadne vode razlikuju se po kvalitetu i kvantitetu, čak i kada potiču iz srodnih industrijskih objekata. Industrijske otpadne vode nemaju sezonski karakter kvaliteta kao komunalne otpadne vode, već imaju ciklusni karakter. Ciklusni karakter industrijskih otpadnih voda najviše zavisi od proizvodnog ciklusa, a sa vremenskog aspekta može biti sedmični, dnevni, pa i satni, što najviše zavisi od tipa proizvodnje, stepena kontinuiranosti proizvodnih procesa i dinamike evakuacije otpadnih voda iz proizvodnih procesa.

Osnovna razlika između industrijskih i komunalnih otpadnih voda je u opsegu kretanja kvantiteta i kvaliteta supstanci-zagađivača, koje kod industrijskih otpadnih voda, za razliku od komunalnih otpadnih voda, mogu da variraju u jako širokim opsezima, čak i u otpadnoj vodi jednog industrijskog objekta tokom dana.

Za stabilnost parametara kvaliteta gradskih kanalizacionih otpadnih voda, kao i za mogućnost njihovog prečišćavanja pre evakuacije u recipijent najznačajniji je odnos količina komunalnih i industrijskih otpadnih voda u kanalizacionim otpadnim vodama.

Što je veći udeo industrijskih otpadnih voda u kanalizacionim otpadnim vodama, to je kvalitet kanalizacionih otpadnih voda promenljiviji, nestabilniji i nepovoljniji sa stanovišta postavke postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda i efikasnosti eksploatacije istih. Stoga je najpovoljnija postavka kod kanalizacionih otpadnih voda da se strogo propišu MDK supstanci-zagađivača, kao i opštih parametara zagađenja u industrijskim otpadnim vodama pre upuštanja u sistem gradske kanalizacije.

Za najveći broj industrijskih objekata to znači da moraju posedovati postrojenja za predtretman svojih otpadnih voda pre upuštanja u sistem gradske kanalizacije.

Industrijske otpadne vode spadaju u kompleksne zagađivače okolne sredine, posebno površinskih vodotokova i podzemnih vodnih resursa.

Otpadne vode industrije po svom kvalitetu, posebno po broju supstanci-zagađivača i njihovim kvalitetima, zahtevaju kompleksne tretmane pre ispuštanja u prirodne recipijente.

Industrijske otpadne vode se ne mogu ispuštati ni u gradske kanalizacione sisteme bez prethodnih tretmana iz nekoliko razloga:

- visok sadržaj velikog broja teških metala i pojedinih neorganskih soli, od kojih se dobar deo kategoriše kao opasne supstance, otpadne vode industrije onemogućavaju biološki tretman komunalnih otpadnih voda (ćelisljki otrovi), pa efluent odlazi u recipijent sa otrovnim materijama, kao i nedovoljno biološki stabilizovan
- veliki broj različitih organskih i mineralnih jedinjenja u sastavu otpadnih voda zahteva poseban tretman za obradu, koji se ne vrši u tretmanu gradskih otpadnih voda, pa navedene materije nepromenjene, ili nedovoljno promenjene odlaze sa efluentom u recipijent

- velika količina čvrstog sedimenta i taložljivih materija, bilo u obliku inertnog nanosa, bilo u obliku hemijskih taloga, koji može dospeti u kanalizaciju sa industrijskom otpadnom vodom, ili nastati u samoj kanalizaciji usled promene fizičko-hemijskih uslova sredine, koja prevazilazi procenjene kapacitete mehaničke separacije na postrojenjima za prečišćavanje kanalizacionih voda, čime mehanički isključuje pojedine uređaje iz funkcije
- visok sadržaj hemijski nestabilnih supstanci u industrijskim otpadnim vodama zahteva poseban hemijski tretman, koji se ne vrši u konvencionalnim sistemima za obradu komunalnih otpadnih voda, kako po tipu tehnologije koja se koristi, tako i po obimu obrade u odnosu na ulazno opterećenje sistema za obradu, pa se u sistemu za prečišćavanje ne vrši potreban stepen prečišćavanja, niti hemijski nestabilnih supstanci, niti biodegreabilnih supstanci, koje sa visokim sadržajem u efluentu odlaze u recipijent
- organsko opterećenje, sadržaj BPK₅, osim u sanitarnim otpadnim vodama iz industrijskih i drugih proizvodnih objekata, predstavlja parametar koji osciluje u jako širokim granicama, od jako velikog sadržaja, kao kod otpadnih voda iz objekata poljoprivredno-prehrambene industrije, do izuzetno niskog sadržaja, kao kod objekata neorganske hemijske industrije, pa efluent sa, većim ili manjim, nedopustivim sadržajem organskog opterećenja - biodegreabilnim supstancama, odlazi u recipijent
- visok sadržaj velikog broja dispergovanih čestica, bilo koloidnih bilo makromolekulskih karakteristika, zahteva poseban tretman, koji se ne primenjuje u sistemima za obradu komunalnih otpadnih voda, pa se ometa kompletan mehanički, fizičko-hemijski i biološki postupak obrade na postrojenju za prečišćavanje, što čini da efluent sa nedopustivim sadržajima većeg broja supstanci-zagađivača odlazi u recipijent

Iz svega navedenog se ne preporučuje se da se otpadne vode industrije obrađuju zajedno sa komunalnim otpadnim vodama, kako sa tehničko-tehnološkog stanovišta, tako i iz ekonomskih razloga.

Posebno je nepovoljno to što industrijske otpadne vode vrše udarna opterećenja kanalizacionih voda navedenim supstancama u manjem ili većem obimu, odnosno kraće ili duže vreme.

U fazi minimalnih hidrauličkih opterećenja kanalizacije komunalnim otpadnim vodama, kada raste udeo industrijskih otpadnih voda iz kontinuiranih procesa u kanalizacionim vodama, dolazi do povećavanja sadržaja supstanci-zagađivača (mehaničkog, hemijskog i biološkog opterećenja) u kanalizacionim vodama, što često prelazi projektovana opterećenja navedenim supstancama-zagađivačima na postrojenju za prečišćavanje kanalizacionih otpadnih voda.

Slično se dešava i u fazi normalnog hidrauličkog opterećenja komunalnim otpadnim vodama, kada se javljaju udarni efekti od industrijskih otpadnih voda iz šaržnih procesa.

Zavisno od dužine trajanja udarnog opterećenja, kao i od njegovog obima, kapacitet kanalizacione mreže, kao ni kapacitet postrojenja za prečišćavanje kanalizacionih voda, često ne može da amortizuje nastale udare, što dovodi do negativnih promena na efluentu koji se iz postrojenja ispušta u recipijent, a ne retko u navedenim situacijama dolazi i do pojave izbacivanja iz funkcije dela postrojenja, ili čitavog postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda.

Česte udarne promene u kanalizacionim vodama visokih amplituda značajno destabilizuju neophodnu ravnotežu u postrojenju za prečišćavanje kanalizacionih voda, tako da se usled nedostatka vremena za uspostavljanje ravnoteže procesa na postrojenju, čitavo postrojenje izbacuje iz planiranog radnog režima i radi mimo predviđenih i postavljenih okvira, često i u dužim vremenskim intervalima.

Ovo se manifestuje lošim izlaznim osobinama efluenta, kao i nemogućnošću da postrojenje, u određenim vremenskim intervalima, dostigne i održi planirane efekte prečišćavanja.

Ekstremna varijanta se događa, zbog nedovoljno precizne analize uticaja industrijskih otpadnih voda na komunalne otpadne vode, prilikom projektovanja postrojenja. Usled navedenih negativnih uticaja, postrojenje nikada ne dostigne pojedine planirane parametre kvaliteta efluenta

iz projekta, tako da efluent neprekidno odlazi u recipijent sa nedopustivim sadržajima pojedinih nepoželjnih supstanci - zagađivača.

Posebno je rizično mešanje industrijskih i komunalnih otpadnih voda u kanalizacionoj mreži u naseljima, ispod 50 000 ES, sa razvijenijom industrijom, kada su recipijenti malih kapaciteta, manje reke ili kanali.

Ova mesta su karakteristična za Vojvodinu van regije reka Dunava, Save i Tise, kao i za celu južnu i jugoistočnu Srbiju i zapadnu Srbiju, van regije reke Drine.

Mešanje industrijske i komunalne otpadne vode u kanalizacionoj mreži je nedopustivo za urbane sredine sa razvijenom industrijom ispod 15 000 ES. Za ovakve situacije je najpovoljnije postavljanje potpuno odvojenih kanalizacionih sistema, mreže industrijske kanalizacije i mreže komunalne kanalizacije, sa odvojenim postrojenjima za njihove tretmane pre upuštanja u prirodne recipijente.

2.2.1. SADRŽAJ INDUSTRIJSKIH OTPADNIH VODA

2.2.1.1. Hemijski sadržaji u industrijskim otpadnim vodama

Sadržaji određenih supstanci-zagađivača, kao što su teški metali, neorganske soli i slično, koloidna mutnoća, vrednost pH, hemijski nestabilne supstance (visok HPK) mogu potpuno da izbace iz funkcije osnovni postupak obrade komunalnih otpadnih voda, biološku obradu, time što, ili troše neophodni kiseonik na hemijsku stabilizaciju (HPK), ili izazivaju inhibiranje metabolizma i ubijanje (trovanje) mikroorganizama u aktivnom mulju.

Kada je udeo industrijskih otpadnih voda u kanalizacionim vodama veći, od 20% i više, onda se ne mogu amortizovati ovi hemijski udari postavljanjem stabilizacionih bazena (pufera) ispred samog postrojenja za prečišćavanje, pa je proces na postrojenju stalno destabilizovan i van ravnoteže, čime se isključuje mogućnost njegovog efikasnog rada. U tom slučaju stepen efikasnosti postrojenja i izlazni parametri efluenta ne zadovoljavaju kriterijume za prijem otpadnih voda

Izlazni efluent time opasno ugrožava recipijent, izmenom njegovih hemijskih i bioloških osobina, čime se flora i fauna recipijenta menja dejstvom hemijskih supstanci-zagađivača, ili usled nedostatka kiseonika u recipijentu, hemijski i biodegreabilni procesi u postrojenju za prečišćavanje nastavljaju se visokim intenzitetom i u recipijentu.

Ovakvo mešanje industrijskih i komunalnih otpadnih voda neprihvatljivo je kod manjih urbanih sredina, ali treba uzeti u obzir i prirodnu moć recipijenata kad su u pitanju industrijske otpadne vode.

2.2.1.2. Sadržaj sediment u industrijskim otpadnim vodama

Sadržaj čvrstog sedimenta, inertnih nanosa, kao što su pesak, glina, šut, ili hemijskih taloga, kao što su oksidi teških metala, neorganske soli i slično, mogu potpuno da izbace iz funkcije ne samo mehaničke uređaje za separaciju, već i ostale uređaje u sastavu postrojenja za obradu kanalizacionih otpadnih voda, pre svega pumpe na samom početku postrojenja. U najnepovoljnijoj varijanti se može izvršiti i nasipanje bioaeracionih bazena, čime se potpuno izbacuje čitavo postrojenje iz funkcije.

Kada je udeo industrijskih otpadnih voda u kanalizacionim vodama veći, od 20% i više, onda se moraju postavljati mehanički predseparatopri tipa hvatača peska i gravitacionih taložnika značajnih gabarita, kako bi se izbegla zamuljivanje objekata i uređaja u samom postrojenju za prečišćavanje.

2.2.1.3. Organsko opterećenje (BPK₅) u industrijskim otpadnim vodama

Organsko opterećenje, odnosno sadržaj biodegreabilnih materija u nekim industrijskim otpadnim vodama, ili je ekstremno nisko, < 100 mgBPK₅/l (hemijska industrija kiselina, baza, soli i nemetala, metalska industrija, građevinska industrija i slično), a kod drugih je ekstremno visoko, sa udarima i do nekoliko hiljada mg/l (šećerane, klanice, mlekare i slično).

Ispuštanje otpadnih voda sa ekstremno visokom biološkom potrošnjom kiseonika u kanalizaciju izaziva promenu režima opterećenja postrojenja za biološku obradu kanalizacionih voda, kada usled ekstremnog rasta organskog opterećenja na postrojenju (visoko koncentrovanje) dolazi do preteranog uvećanja količine aktivnog mulja, koja može dovesti i do potpunog zamuljivanja uređaja i objekata u okviru postrojenja za biološku obradu, čime se čitavo postrojenje za prečišćavanje kanalizacionih voda stavlja van funkcije.

Ispuštanje otpadnih voda sa malom potrošnjom kiseonika u kanalizaciju izaziva promenu režima opterećenja postrojenja za biološku obradu kanalizacionih voda. Usled ekstremnog pada organskog opterećenja na postrojenju (visoko razblaživanje) dolazi do velikog odumiranja mikroorganizama u aktivnom mulju, koje može dovesti i do potpunog prekida biološke obrade u postrojenju za biološku obradu, čime se potpuno prekida osnovni proces prečišćavanja komunalnih otpadnih voda na postrojenju za prečišćavanje kanalizacionih voda. Tada je efluent komunalnih otpadnih voda sa nedopustivo visokim BPK₅ neprerađen i ispušten u recipijent, sa katastrofalnim posledicama po floru i faunu recipijenta.

Takođe, mulj iz komunalnih otpadnih voda je potpuno nestabilizovan i aktivan, tako da se ne može adekvatno izvršiti njegov dalji tretman i evakuacija, posebno kod postrojenja sa aerobnom stabilizacijom mulja (postupci sa produženom aeracijom).

Posebno je nedopustivo ovakvo mešanje industrijskih i komunalnih otpadnih voda kod slučajeva manjih urbanih sredina, ispod 50 000 ES sa recipijentima malih kapaciteta, manjim rekama ili kanalima, a odnosi se skoro na sve razvijene industrije, bilo da su u grupi sa ekstremno visokim ili niskim BPK₅.

Najveći broj urbanih naselja u Srbiji koja imaju postrojenja za prečišćavanje mešanih industrijskih i komunalnih otpadnih voda, je upravo opterećen ovim problemima.

2.2.2. TRETMAN INDUSTRIJSKIH OTPADNIH VODA

2.2.2.1. Centralno (gradsko) postrojenje za tretman industrijskih otpadnih voda

Centralno (gradsko) postrojenje za tretman industrijskih otpadnih voda predstavlja centralizovani složeni sistem za obradu zbirnih industrijskih otpadnih voda, ređe na nivou celog grada, a češće na nivou industrijske zone.

Ovaj sistem zahteva odvojeno sakupljanje i transport industrijskih otpadnih voda od komunalnih otpadnih voda, posebnim sistemom industrijske kanalizacije do postrojenja za obradu industrijskih otpadnih voda.

Većina naših gradova je postavljala kanalizacionu mrežu davno pre industrijskog razvoja, tako da nije ni bilo moguće postavljanje paralelne industrijske kanalizacione mreže kroz ceo grad, već je jedino moguće postavljanje industrijske kanalizacione mreže u delovima grada u kojima je koncentrisana industrija, u takozvanim industrijskim zonama.

Kod odvojene obrade industrijskih od komunalnih otpadnih voda moraju se razdvojiti tehničko-tehnološke otpadne vode od atmosferskih otpadnih voda (kišna kanalizacija), pošto dolazi do ometanja potrebnih procesa u okviru postupka prečišćavanja, kao i proširivanja obima i broja potrebnih tehnoloških operacija u tretmanu.

Postavljanje separatne kanalizacione mreže je moguće relativno lakše postaviti za nove industrijske objekte, kod kojih je, ili već razdvojena tehničko-tehnološka od sanitarne kanalizacione mreže i kišne kanalizacije, ili se može izvršiti tehnička adaptacija razdvajanja ovih kanalizacionih mreža unutar industrijskih objekata, pošto su novi industrijski objekti prostorno i tehnički dobro rešeni sa aspekta navedene problematike.

Postavka ovakvog sistema separatne kanalizacije u starim industrijskim objektima je tehnički značajno otežana, usled velikih tehničkih poteškoća za razdvajanja postojećeg zajedničkog kanalizacionog sistema u okviru objekta. U starim industrijskim objektima je često i nemoguće izvršiti adaptaciju i podelu na industrijske, sanitarne i kišne kanalizacione mreže, pošto su već izvršene brojne adaptacije, kako tehnoloških linija, tako i proširivanja proizvodnih procesa, te je prostor već prenatrpan, a vađenje postojećeg zajedničkog kanalizacionog sistema i postavljanje potpuno novih odvojenih kanalizacionih sistema je, ne samo skupo, već i izuzetno tehnički teško rešivo.

Centralno (gradsko) postrojenje za obradu industrijskih otpadnih voda, prema stepenu obrade, može biti:

- postrojenje za kompletan tretman obrade industrijskih otpadnih voda sa ispuštanjem efluenta u površinske recipijente
- postrojenje za predtretman, delimičnu obradu industrijskih otpadnih voda sa upuštanjem efluenta u sistem gradske kanalizacije

– Postrojenje za kompletan tretman industrijskih otpadnih voda

Kompletan tretman industrijskih otpadnih voda, za ispuštanje efluenta u površinske recipijente, podrazumeva postojanje sledećih elemenata:

- industrijska kanalizacija, odvojena od sanitarne i kišne kanalizacije, u svim industrijskim objektima
- centralna industrijska kanalizacija u industrijskoj zoni
- centralno postrojenje za tretman industrijske otpadne vode
- evakuacioni kolektor efluenta do recipijenta

Ovakvi sistemi se moraju unapred planirati, najbolje kod urbanizacije naselja i pri projektovanju kanalizacione mreže, kada se paralelno sa komunalnom kanalizacionom mrežom postavljaju u pojedinim zonama i odvojeni sistemi industrijske kanalizacione mreže.

Ovakvi sistemi su jedino povoljni za nove, mahom industrijske gradove, reda veličine komunalnog opterećenja do 50 000 ES, kod kojih je industrija skoncentrisana na određenom prostoru, a udeo hidrauličkog opterećenja industrijske otpadne vode u kanalizacionoj otpadnoj vodi grada prelazi 20%.

Pri ovakvom odnosu hidrauličkih opterećenja industrijskih i komunalnih otpadnih voda se tehnički i ekonomski ne isplati zajednički tretman komunalnih i industrijskih otpadnih voda, već je, kako tehničko-tehnološki, tako i ekonomski racionalnije razdvojiti ova dva kanalizaciona sistema i za svaki zasebno postaviti postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda.

Gradovi sa razvijenom industrijom, kao što su Majdanpek, Sevojno, Aleksinac, Kosovska Mitrovica i slični, morali bi imati odvojen kanalizacioni sistem u svojim industrijskim zonama i kompletnu preradu industrijskih otpadnih voda pre evakuacije u površinske recipijente.

Za industrijska naselja sa komunalnim opterećenjem od manje od 20 000 ES, ovakav pristup tretmanu otpadnih trebao bi biti obavezan.

Industrijski gradovi i naselja, kao što su Gornji Milanovac, Kostolac, Prahovo, Loznica, Obilić i slični, morali bi imati odvojen kanalizacioni sistem u svojim industrijskim zonama i kompletnu preradu industrijskih otpadnih voda pre evakuacije u površinske recipijente.

– Postrojenje za predtretman industrijskih otpadnih voda

Predtretman industrijskih otpadnih voda, radi ispuštanja efluenta u sistem komunalne kanalizacije, podrazumeva postojanje sledećih elemenata:

- industrijska kanalizacija, odvojena od sanitarne i kišne kanalizacije, u svim industrijskim objektima
- centralna industrijska kanalizacija u industrijskoj zoni
- centralno postrojenje za predtretman industrijske otpadne vode
- priključni šaht za upuštanje efluenta u sistem komunalne kanalizacije

Ovakvi sistemi se moraju planirati kod postavljanja industrijskih zona u okviru urbane sredine, ili kod donošenja novih urbanističkih planova, kao i pri projektovanju proširivanja kanalizacione mreže, kada se paralelno sa komunalnom kanalizacionom mrežom postavljaju u pojedinim zonama i odvojeni sistemi industrijske kanalizacione mreže.

Ovakvi sistemi su povoljni za industrijske gradove, mahom sa novim ili noveliranim urbanističkim rešenjima postavljanja industrijskih zona. Podobni su za najveći broj industrijskih gradova kod nas, koji imaju izdiferencirane industrijske zone, reda veličine komunalnog opterećenja do 20 000-100 000 ES, kod kojih je industrija skoncentrisana na jednom ili više određenih prostora, a udeo hidrauličkog opterećenja industrijske otpadne vode u kanalizacionoj otpadnoj vodi grada prelazi 20%.

Pri ovakvom odnosu hidrauličkih opterećenja industrijskih i komunalnih otpadnih voda se tehničko-tehnološki ne isplati zajednički tretman komunalnih i industrijskih otpadnih voda, već je, racionalnije razdvojiti ova dva kanalizaciona sistema u delovima industrijskih zona grada, za zbirnu industrijsku otpadnu vodu iz industrijske zone postaviti postrojenja za predtretman.

2.2.2.2. Postrojenje za tretman kombinovanih industrijskih i komunalnih otpadnih voda

Centralno (gradsko) postrojenje za obradu kombinovanih industrijskih i komunalnih otpadnih voda predstavlja centralizovani složeni sistem za obradu mešanih industrijskih i komunalnih otpadnih voda na nivou celog grada.

Ovaj sistem zahteva odvojeno sakupljanje industrijskih i sanitarnih otpadnih voda u okviru industrijskih objekata, mešanje industrijskih i komunalnih otpadnih voda u zajedničkom kanalizacionom sistemu, transport mešanih industrijskih i komunalnih otpadnih voda sistemom gradske kanalizacije do postrojenja za obradu kanalizacionih otpadnih voda.

Većina naših gradova je postavljala kanalizacionu mrežu davno pre industrijskog razvoja, tako da ima jedinstvenu kanalizacionu mrežu kroz ceo grad, tako da je ovakav sistem tretmana industrijskih otpadnih voda najlakše i tehnički najcelishodnije postaviti u najvećem broju gradova i industrijskih naselja kod nas.

Kod zajedničke obrade industrijskih otpadnih voda sa komunalnim otpadnim vodama poželjno je da se u okviru industrijskog objekta razdvoje tehničko-tehnološke otpadne vode od sanitarnih otpadnih voda i slivnih otpadnih voda (kišna kanalizacija), da bi mogla da se lakše i efikasnije izvrši priprema, odnosno predtretman industrijskih otpadnih voda pre mešanja sa komunalnim otpadnim vodama u sistemu gradske kanalizacione mreže.

Postavljanje separatne kanalizacione mreže je moguće relativno lakše postaviti za nove industrijske objekte, kod kojih je, ili već razdeljena tehničko-tehnološka od sanitarne kanalizacione mreže i kišne kanalizacije, ili se može izvršiti tehnička adaptacija razdvajanja ovih kanalizacionih mreža unutar industrijskih objekata, pošto su novi industrijski objekti prostorno i tehnički dobro rešeni sa aspekta navedene problematike.

Postavka ovakvog sistema separatne kanalizacije u starim industrijskim objektima je tehnički značajno otežana, usled velikih tehničkih poteškoća za razdvajanja postojećeg zajedničkog kanalizacionog sistema u okviru objekta. U starim industrijskim objektima je često i nemoguće izvršiti adaptaciju i podelu na industrijske, sanitarne i kišne kanalizacione mreže, pošto su već izvršene brojne adaptacije, kako tehnoloških linija, tako i proširivanja proizvodnih procesa, te je prostor već prenatrpan, a vađenje postojećeg zajedničkog kanalizacionog sistema i postavljanje potpuno novih odvojenih kanalizacionih sistema je, ne samo skupo, već i izuzetno tehnički teško rešivo.

Centralno (gradsko) postrojenje za obradu mešanih kanalizacionih otpadnih voda, prema stepenu obrade, može biti:

- postrojenje za tretman kanalizacionih otpadnih voda, sa posebnim postrojenjem za predtretman industrijske otpadne vode u svakom industrijskom i drugom proizvodnom objektu
- postrojenje za zajednički tretman kanalizacionih otpadnih voda, komunalnih i industrijskih
- **Postrojenje za kompletan tretman kanalizacionih otpadnih voda sa prethodnim predtretmanom industrijskih otpadnih voda**

Kompletan tretman mešanih kanalizacionih otpadnih voda, industrijskih i komunalnih, sa posebnim predtretmanom industrijskih otpadnih voda na zasebnim postrojenjima u okviru svakog industrijskog i drugog proizvodnog objekta, za ispuštanje efluenta u površinske recipijente, podrazumeva postojanje sledećih elemenata:

- komunalne otpadne vode
- evakuacioni industrijska kanalizacija, odvojena od sanitarne kanalizacije, u svim industrijskim objektima
- postrojenje za predtretman industrijske otpadne vode do nivoa dozvoljenih za upuštanje u sistem gradske kanalizacione mreže u svakom objektu
- zajednička centralna kanalizacija za industrijske i komunalne otpadne vode u gradu
- centralno postrojenje za tretman kanalizacione, mešane predtretirane industrijske kolektor efluenta od postrojenja do recipijenta

U okviru potrebnih predtretmana industrijskih otpadnih voda u okviru svakog industrijskog i drugog proizvodnog objekta se pre svega misli na:

- uklanjanje teških metala i drugih hemijski nestabilnih jedinjenja postupcima alkalisanja, hemijske precipitacije, aeracije i oksidacije
- uklanjanje koloidne mutnoće postupcima koagulacije i flokulacije
- uklanjanje bojenih materija postupcima koagulacije, flokulacije, aeracije i sorpcije
- uklanjanje organskih makromolekula postupcima sorpcije
- uklanjanje mikropolutanata postupcima aeracije, flotacije, ozonizacije i sorpcije aktivnim ugljem

Kao što se može videti, osnovni postupci prethodnog tretmana uglavnom bi se sastojali u sledećim operacijama:

- hemijska precipitacija
- koagulacija i flokulacija
- flotacija
- višestepena oksidacija
- ozonizacija
- sorpcija aktivnim materijama

Ovakvi sistemi se ne moraju unapred planirati, čak se mogu planirati i nezavisno od projektovane kanalizacione mreže, pa se mogu projektovati i postavljati posle izgradnje kanalizacione mreže.

Ovakvi sistemi su povoljni za sve, kako nove, tako i stare, industrijske i neindustrijske gradove, reda veličine komunalnog opterećenja do 10 000-1 000 000 ES, kod kojih industrija može biti bilo skoncentrisana na određenom prostoru, ili potpuno razučena, a udeo hidrauličkog opterećenja industrijske otpadne vode u kanalizacionoj otpadnoj vodi grada je ispod 20%, a nije zastupljena u većoj meri poljoprivredno-prehrambena industrija u industrijskoj strukturi grada.

Za veći udeo hidrauličkog opterećenja predtretirane industrijske otpadne vode, pod navedenim uslovima, u urbanim sredinama dolazi do velikog razblaživanja mešanih kanalizacionih otpadnih voda, što zahteva prelazak postupka obrade na tehnologiju niskoopterećenih bioloških postrojenja, koja su zapreminski veoma velika, te se ovakva rešenja ne preporučuju za gradove, industrijski razvijene, bez značajnije zastupljene poljoprivredno-prehrambene industrije, reda veličine komunalnih opterećenja preko 50 000 ES. Ovakvih gradskih sredina kod nas praktično nema, pošto je za sve naše industrijalizovane gradove karakteristično postojanje raznovrsne poljoprivredno-prehrambene industrije.

Tako su ovakvi sistemi rešavanja problematike industrijskih otpadnih voda kod nas najbolje primenljivi za skoro sve urbane industrijske sredine i najviše se ovakvih globalnih rešenja i nalazi u praksi kod nas.

– **Zajedničko postrojenje za tretman mešane industrijske i komunalne otpadne vode**

Jedinstveni tretman industrijskih i komunalnih otpadnih voda u zajedničkom postrojenju, radi ispuštanja efluenta u površinski recipijent, podrazumeva postojanje sledećih elemenata:

- jedinstvena kanalizacija u svim industrijskim objektima
- centralna gradska kanalizacija u urbanoj zoni
- centralno postrojenje za tretman kanalizacione otpadne vode
- evakuacioni kolektor za ispuštanje efluenta u recipijent

Ovakvi sistemi se najlakše planiraju i postavljaju na već postojeću kanalizacionu mrežu u urbanoj sredini..

Ovakvi sistemi su povoljni za gradove sa nižim stepenom razvijenosti industrije, mahom poljoprivredno-prehrambenog tipa. Podobni su za najveći broj manjih gradova i urbanih naselja kod nas, lociranih mahom u poljoprivrednim neindustrijskim regijama, reda veličine komunalnog opterećenja do 10 000-50 000 ES, kod kojih je industrija na nižem stepenu razvijenosti, a udeo hidrauličkog opterećenja industrijske otpadne vode u kanalizacionoj otpadnoj vodi grada ne dostiže 10%.

Pri ovakvom odnosu hidrauličkih opterećenja industrijskih i komunalnih otpadnih voda se tehničko-tehnološki ne isplati odvojeni tretman komunalnih i industrijskih otpadnih voda, već je, racionalnije spojiti ova dva kanalizaciona sistema u delovima industrijskih zona grada i za zbirnu kanalizacionu otpadnu vodu celog grada postaviti centralno postrojenja za tretman otpadnih voda.

Sa hemijskog stanovišta ovakav zajednički tretman komunalnih i industrijskih otpadnih voda može imati za posledicu i neželjene promene u hemijskom sastavu komunalnih otpadnih voda koje dolaze na tretman u postrojenje za obradu komunalnih otpadnih voda, kao i neželjene fizičke i hemijske karakteristike otpadne vode, do kojih može povremeno dolaziti, kada je hidrauličko opterećenje komunalnih otpadnih voda duže vreme na niskom nivou.

Ovakve situacije mogu povremeno uticati na rad postrojenja za tretman otpadnih voda, usled nedostatka hemijskih i fizičko-hemijskih predtretmana industrijskih otpadnih voda.

Da bi se ovakve situacije najlakše prevazišle, poželjno je pri projektovanju ovakvih sistema isplanirati i korektivni tretman efluenta, za one parametre, koji prema proceni na bazi sadržaja industrijskih otpadnih voda, mogu povremeno, u kraćim vremenskim intervalima, prelaziti MDK za upuštanje u konkretni recipijent.

Poseban aspekt ovakvog načina obrade predstavlja izbor podobne tehnologije za biološku obradu zbirnih otpadnih voda, koja se razlikuje od tehnologije za biološku obradu čistih komunalnih otpadnih voda. Osnovni uzrok potrebe za drugim tipovima tehnologije kod kombinovanih otpadnih voda leži u činjenicama da su kod kombinovanih otpadnih voda uvećana opterećenja preko osnovnih ulaznih karakteristika (HPK, BPK₅) usled hemijskog i organskog opterećenja, poreklom iz industrijskih otpadnih voda.

Posebnu nepodobnost kod kombinovanih otpadnih voda predstavlja činjenica da se kod ovih voda mogu javljati kratkotrajna preopterećenja u dovoljno širokom opsegu, da se povremeno dinamički opterećuje postrojenje za biološku obradu otpadnih voda, te je potrebno postaviti drugačiju tehnologiju biološke obrade od tehnologije potrebne za biološku obradu čistih komunalnih otpadnih voda.

Najpovoljnija tehnologija biološke obrade ovakvih kombinovanih otpadnih voda je tehnologija biološke obrade sa potpunim mešanjem, koja se može ostvarivati efikasno samo u kompaktnim sistemima sa bioaeracionim bazenima sa potpunim mešanjem, sa uduvavanjem vazduha u bioaeracioni bazen pomoću potopljenih rotora pokretnih duž celog bazena, ili potpoljenih difuzora postavljenih po celom dnu bioaeracionog bazena.

Sagledavši sve navedeno smatramo da je za veći broj manjih gradova u poljoprivrednim regijama kod nas, ovakvo rešenje zajedničkog tretmana komunalnih i industrijskih otpadnih voda zadovoljavajuće, pod uslovom da se ne planira značajniji industrijski razvoj u urbanoj sredini, a da se eventualni budući industrijski objekti, koji bi svojim hidrauličkim i masenim opterećenjem otpadnih voda remetili usvojenu koncepciju, obavezno usmeravaju na postavljanje postrojenja za kompletan tretman industrijskih otpadnih voda za ispuštanje u površinski recipijent.

2.2.2.3. Pojedinačna obrada industrijskih otpadnih voda

Princip pojedinačne obrade industrijskih otpadnih voda podrazumeva da se otpadne vode u svakom industrijskom objektu nezavisno obrađuju do potrebnog nivoa za njihovo ispuštanje u prirodne recipijente.

Prednost ovakvih postupaka je u sledećem:

- postrojenje se postavlja u odnosu na sastav otpadnih voda i nema nepotrebnih operacija, kao kod zbirnih industrijskih otpadnih voda ili kombinovanih industrijskih i komunalnih otpadnih voda
- postrojenje ne mora biti kompaktno, već se može sastojati od niza razdvojenih pozicija, koje se prema zahtevima tehnologije postavljaju iza svakog izliva industrijske otpadne vode u samom pogonu u kome otpadna voda nastaje
- postrojenje se može uspešno dimenzionisati zbog poznatog i relativno ustaljenog karaktera otpadnih voda jednog industrijskog objekta
- postrojenje se može uspešno dimenzionisati zbog poznate količine otpadne vode, poznatih varijacija kvaliteta pojedinih parametara i olakšane mogućnosti upravljanja postrojenjima u eksploataciji

Ovakva pojedinačna postrojenja su kako po kvalitetu, tako pre svega po kvantitetu, postrojenja sa značajno manjim građevinskim, mašinskim i energetskim zahtevima, mnogostruko lakše za upravljanje i finansijski značajno niža, a po efikasnosti značajno viša od napred navedenih zajedničkih postrojenja obrade bilo industrijskih, bilo kombinovanih industrijskih i komunalnih otpadnih voda.

Pojedinačna postrojenja se mogu postavljati kao:

- celovita postrojenja potpunog tretmana industrijskih otpadnih voda za ispuštanje otpadnih voda u rečne recipijente
- razučena postrojenja sa elementima delimičnog tretmana na svakom izlivu za ispuštanje otpadnih voda za potpuni tretman industrijskih otpadnih voda za ispuštanje otpadnih voda u rečne recipijente
- postrojenja potpunog tretmana za ispuštanje industrijskih otpadnih voda u površinski recipijent sa delimičnim zatvaranjem kruga vode u okviru industrijskog objekta

– **Postrojenja za potpuni pojedinačni tretman industrijskih otpadnih voda**

Ovakva postrojenja zahtevaju razdvajanje industrijske kanalizacione mreže od sanitarne kanalizacione mreže i mreže kišne kanalizacije u okviru svakog pojedinačnog industrijskog objekta.

Industrijska otpadna voda se odvojeno sakuplja posebnim kanalizacionim sistemom i odvodi na obradu u posebno postrojenje u okviru industrijskog objekta, odakle se potpuno obrađena prema zahtevima recipijenta, ispušta u rečne tokove. Obim i složenost postrojenja za obradu kod svakog pojedinačnog industrijskog objekta zavisi pre svega od kategorije, kapaciteta i kvaliteta prijemnika, površinskog toka.

Ova postrojenja se najčešće postavljaju kada se iz tehničkih, ili drugih razloga, pre svega tehnoloških, usled nepovoljnih sadržaja industrijskih otpadnih voda, otpadne vode ne mogu upuštati u gradski kanalizacioni sistem, ili su objekti od kanalizacionih sistema značajno udaljeni, ili po hidrauličkom kapacitetu objekti značajno prevazilaze kapacitet i mogućnosti kanalizacionog kolektora na koji se mogu priključiti.

Sanitarne i atmosferske otpadne vode se odvojeno sakupljaju posebnim kanalizacionim sistemima.

Sanitarne otpadne vode se odvođe u gradski kanalizacioni sistem, ili se odvojeno prečišćavaju od industrijskih otpadnih voda, u posebnom postrojenju, ako se ne može izvršiti njihova evakuacija u gradski kanalizacioni sistem.

Kišna kanalizacija se, u najvećem broju slučajeva slivnih voda sa krovova i platoa objekata, može odvoditi uz minimalnu mehaničku obradu direktno u recipijent, ili koristiti za razblaživanje efluenta industrijskih otpadnih voda, radi male korekcije parametara supstanci-zagađivača u odnosu na konkretni površinski recipijent.

Kišna kanalizacija iz industrijskih objekata nije poželjno da se evakuše u gradski kanalizacioni sistem, osim ako nije uplanirana u opterećenje gradskog kolektora, kako ne bi nepotrebno hidraulički opterećivala gradsko postrojenje za tretman komunalne otpadne vode, kao i vršila razblaživanje sadržaja komunalne otpadne vode, čime se otežava izabrana i postavljena tehnologija biološke obrade u okviru postrojenja.

Zbog kategorija i kvaliteta potencijalnih prijemnika, reka, jezera, kanala za navodnjavanje i drugih površinskih voda kod nas (mahom IIa i IIb kategorije), ovakav princip obrade industrijskih otpadnih voda nije optimalan za najveći broj industrijskih objekata kod nas, pre svega sa ekonomskog stanovišta, kako investicionih troškova, tako i eksploatacionih troškova.

– **Postrojenja za delimični pojedinačni tretman industrijskih otpadnih voda**

Ova postrojenja podrazumevaju individualni tretman industrijskih otpadnih voda, u samim industrijskim objektima, do nivoa dopuštenih za ispuštanje u gradsku kanalizaciju (MDK za gradsku kanalizaciju), evakuaciju industrijskih otpadnih voda zajedno sa sanitarnim otpadnim vodama, u gradsku kanalizaciju, dok se atmosferske otpadne vode mogu, posle manjeg mehaničkog tretmana, upustiti u recipijent.

Industrijske otpadne vode bi se u svakom industrijskom objektu tretirale odgovarajućim postupcima koji bi kvalitet sadržaja otpadnih materija ovih voda sveli na dopušteni nivo za upuštanje u gradsku kanalizaciju, a zatim bi se odvojeno, ili zajedno sa sanitarnim, a ako nema hidrauličkog preopterećenja kanalizacije i atmosferskim otpadnim vodama, upuštale u gradsku kanalizaciju.

Ovakav pristup omogućava da se industrijske otpadne vode tretiraju odmah iza mesta nastanka, potrebnim tehnološkim operacijama i postupcima, prema svojim kategorijama kvaliteta, u delu u kome su ti postupci neophodni, čime se dobija na smanjenju potrebnog obima tretmana industrijskih otpadnih voda svakog pojedinačnog objekta, kao u slučaju ispuštanja u površinske recipijente.

U okviru postupaka za pojedinačni tretman industrijskih otpadnih voda za ispuštanje u sistem gradske kanalizacije, takođe, postoji mogućnost postavke pojedinačnih tretmana, ili centralnog tretmana, u okviru obrade industrijske otpadne vode jednog industrijskog objekta.

Ovaj princip obrade industrijskih otpadnih voda najviše odgovara najvećem broju naših industrijskih objekata i drugih postojećih preduzeća, pogotovu onima koji se priključuju na već definisan kanalizacioni sistem u urbanoj sredini.

Smatramo da je ovakav princip najbolje primeniti kao osnovnu strategiju za najveći broj industrijskih objekata u urbanim sredinama sa kanalizacionim sistemom kod nas, naravno, tamo gde to drugi potrebni uslovi, navedeni u prethodnim tekstovima o zajedničkim postrojenjima za obradu, ne ograničavaju.

Svaki industrijski objekat bi u svom okruženju obrađivao svoje industrijske otpadne vode do nivoa koji je dozvoljen za ispuštanje u gradsku kanalizaciju, a zatim delimično obrađenu otpadnu vodu, odvojeno, ili zajedno sa sanitarnim, pa i atmosferskim otpadnim vodama, upuštao u gradsku kanalizaciju.

– **Postrojenja sa delimičnim zatvaranjem kruga vode**

Ova postrojenja se sastoje u postavci zatvorenog kruga dela industrijske otpadne vode u okviru industrijskog objekta, koji bi se, posle odgovarajućeg tretmana, vraćao nazad u industrijski proces. Ovakvom postavkom se dobija, kako na lokalnom značaju (mikroplanu), tako i na globalnom značaju (makroplanu) problema tretiranja voda.

Zatvaranjem kruga dela otpadne vode u okviru industrijskog objekta se smanjuje potrošnja vode za proizvodne procese, pri čemu se samo nadoknađuju gubici vode u zatvorenom krugu.

Osnovne prednosti na mikroplanu ovakvih postrojenja su:

- smanjuje se potrošnja vode u industrijskom objektu
- smanjuje se potrebna tehnologija i tehnika za tretman industrijskih otpadnih voda za evakuaciju u površinski recipijent ili gradsku kanalizaciju
- omogućava se bolja regeneracija i reciklaža korišćenih hemikalija i aditiva u većini "mokrih" tehnoloških procesa
- značajno se snižavaju troškovi proizvodnje, najvećim delom na uštedi na vodi i tretmanu vode, a malim delom i na regeneraciji i reciklaži hemikalija i aditiva

Osnovne prednosti na makroplanu su:

- smanjivanje trošenja vodnih resursa grada i regije
- smanjivanje opterećenja rečnih recipijenata otpadnim vodama
- sigurnija zaštita okolne sredine od industrijskih otpadnih voda.

U većini industrijskih objekata se uspešno mogu zatvarati krugovi voda, pre svega tehničkih voda (vode za pranje, rashladne vode i sl), kao i tehnoloških voda (vode za rastvaranje hemikalija i aditiva, ekstrakciju i slično). Ove vode je najčešće potrebno samo mehanički prečistiti i delimično hemijski korigovati po pitanju kvaliteta pojedinih fizičkih i hemijskih parametara, da bi se one ponovo mogle koristiti u tehnološkim procesima u kojima su nastale.

Ovakav tretman industrijskih otpadnih voda predstavlja visoko značajno smanjenje kako u tehničko-tehnološkom, tako i u ekonomskom smislu, u odnosu na potpuni ili delimični tretman, koji su napred navedeni. Ovakva postavka predstavlja samo specifični pojedinačni tretman u okviru pojedinačnih tretmana otpadnih voda industrijskih objekata. Zbog svojih nesumnjivih prednosti ovakav pristup rešavanju problema tretmana industrijskih otpadnih voda preporučujemo da se razmatra pri postavljanju strategije kod svakog pojedinačnog industrijskog objekta, kao i da se predloži primena svuda gde za to ima opravdanja, a posebno za vode koje mogu ozbiljno ugrožavati okolnu sredinu i pored tretmana.

Da bi se industrijske otpadne vode mogle ispuštati u kanalizacionu mrežu gradske kanalizacije, neophodno je da se njihov sastav svede na sastav blizak komunalnim otpadnim vodama, odnosno na sastav koji mnogo ne menja osnovne kvalitete parametara zagađenja komunalnih otpadnih voda, pa ni potrebnu tehnologiju za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda pre evakuacije u površinske recipijente.

Svaka urbana sredina treba da propiše dozvoljeni kvalitet industrijskih i drugih otpadnih voda za upuštanje u kanalizacionu mrežu sistema gradske kanalizacije, na bazi kapaciteta svoje kanalizacione mreže, kao i kapaciteta prijemnika, površinskih recipijenata na koje su usmereni kolektori postrojenja za prečišćavanje kanalizacionih otpadnih voda.

Ove propise treba da propišu i donesu nadležna služba i organi SO svake urbane sredine ponaosob. Radi uvida u sadržaj takvog opštinskog akta prezentiramo kao primer u nastavku teksta jedan takav predlog pravilnika za određivanje maksimalno dozvoljenih koncentracija i supstanci-zagađivača, kao i drugih kvaliteta industrijskih i drugih otpadnih voda u kanalizacioni sistem urbane sredine.

2.2.3. KVALITET INDUSTRIJSKIH OTPADNIH VODA

U industrijskim otpadnim vodama se nalazi veliki broj supstanci koje se moraju ukloniti u visokom procentu pre ispuštanja u recipijente. Potreban procenat uklanjanja navedenih supstanci za ispuštanje u gradski kanalizacioni sistem je za mnoge od njih značajno niži nego za ispuštanje u prirodne recipijente.

Zahvaljujući navedenoj razlici značajno je lakše tretirati industrijske otpadne vode za ispuštanje u gradske kanalizacioni sistem. Takođe, značajna prednost ispuštanja industrijskih otpadnih voda u gradski kanalizacioni sistem je u mogućnosti da se potreban tretman izvrši uobičajenim mehaničkim, hemijskim, fizičko-hemijskim i biološkim postupcima, sa retkim zahtevima za specifičnim, složenim i skupim specijalnim metodama.

Za razliku od ispuštanja u gradski kanalizacioni sistem, za ispuštanje industrijskih otpadnih voda u prirodne recipijente, zbog potrebe za visokom efikasnošću tretmana najvećeg broja supstanci-zagađivača neophodno je koristiti i veći broj specifičnih, složenih i skupih postupaka, kao i višestepeni tretman, pre ispuštanja u recipijente.

Supstance-zagađivači se mogu grupisati prema metodama potrebnim za njihovo uklanjanje uobičajenim postupcima na nekoliko kategorija.

Nerastvorne materije se mogu izdvajati iz otpadne vode na dva osnovna načina:

- gravitacionim taloženjem i evakuacijom čvrstog taloga - gravitaciona sedimentacija i separacija peska, oksida metala, taloga nerastvornih supstanci i drugo
- površinskim uklanjanjem, sa ili bez flotacije - površinsko uklanjanje specifično lakših (plivajućih) supstanci, masti i ulja, emulzija nerastvornih ugljovodonika i drugo

Oba postupka spadaju u uobičajene tehnološke postupke.

Oba postupka se mogu realizovati sa dovoljnim stepenom efikasnosti za ispuštanje u gradski kanalizacioni sistem, a prvi postupak je uobičajeno sa dovoljnim stepenom efikasnosti i za ispuštanje u prirodne recipijente.

Drugi postupak uobičajeno nema dovoljan stepen efikasnosti za ispuštanje u prirodne recipijente, pa se mora izvršiti višestepeni tretman kombinacijom mehaničke separacije (gruba separacija) i nekog od postupaka fizičko-hemijske separacije (fina separacija).

Rastvorljive materije se mogu izdvajati iz otpadne vode na dva osnovna načina:

- fizičkom adsorpcijom - površinska sorpcija bojenih materija, deterdženata i drugo
- jonska izmena, elektrodializa i osmoza - izdvajanje soli i molekula rastvorenih u otpadnoj vodi, koje se ne mogu izdvojiti metodama hemijskog i fizičko-hemijskog taloženja (soli alkalnih metala, neki organski molekuli i drugo)

Oba postupka spadaju u specifične tehnološke postupke.

Oba postupka se izuzetno retko koriste za tretman otpadnih voda za ispuštanje u gradski kanalizacioni sistem, a karakteristični su za industrijske otpadne vode određenih grana industrije (industrija neorganskih soli, neorganska i organska bazna hemija i slično).

Drugi postupak je posebno nepovoljan sa tehničkog, energetskog i finansijskog aspekta, tako da se uobičajeno izbegava čak i kada bi bio potreban sa stanovišta zahteva tehnologije.

Materije koje se mogu izdvojiti neutralizacijom iz otpadnih voda su:

- organske kiseline i baze (organske kiseline i baze koje nisu toksične, a soli su im ograničeno rastvorne)
- neorganske kiseline
- neorganske baze

Postupak neutralizacije spada u uobičajene tehnološke postupke.

Postupak neutralizacije se često koristi za tretman otpadnih voda za ispuštanje, kako u gradski kanalizacioni sistem, tako i u prirodne recipijente.

Materije koje se mogu izdvojiti oksidoredukcijom iz otpadnih voda su:

- oksidoredukciona sredstva - supstance čije su oksidisane ili redukovane forme dovoljno rastvorljive, a nisu toksične
- sulfidi, cijanidi, hromati i slično

Postupak oksidoredukcije najčešće spada u uobičajene tehnološke postupke, ma da ima i oksidoredukcioni procesa koji spadaju u specifične tehnološke postupke.

Postupak oksidoredukcije se često koristi za tretman otpadnih voda za ispuštanje, kako u gradski kanalizacioni sistem, tako i u prirodne recipijente.

Materije koje se mogu izdvojiti istaloživanjem iz otpadnih voda su:

- teški metali (Fe, Cu, Zn, Be, Ti, Cr⁺³, Al⁺³ i drugi) - metali koji mogu biti toksični, a koji se mogu istaložiti promenom pH otpadne vode, mahom u obliku slabo rastvornih oksida i hidrokksida
- sulfidi, fluoridi, neke neorganske i organske kiseline i slično

Postupak istaloživanja (teški metali) najčešće spada u uobičajene tehnološke postupke, ma da ima i procesa istaloživanja koji spadaju u specifične tehnološke postupke.

Postupak istaloživanja se često koristi za tretman otpadnih voda za ispuštanje, kako u gradski kanalizacioni sistem, tako i u prirodne recipijente.

Materije koje se mogu izdvojiti koagulacijom i flokulacijom iz otpadnih voda su:

- koloidne materije - izdvajaju se najčešće hemijskom, ređe termičkom, a najređe fizičkom koagulacijom i flokulacijom
- neke organske emulzije - elastomeri, smole, rastvorna ulja, emulgovani ugljovodonici i slično

Postupak koagulacije i flokulacije spada, kako u uobičajene tehnološke postupke, tako i u specifične tehnološke postupke.

Postupak koagulacije i flokulacije se često koristi za tretman otpadnih voda za ispuštanje, kako u gradski kanalizacioni sistem, tako i u prirodne recipijente.

Materije koje se mogu izdvojiti degazacijom iz otpadnih voda su:

- solvatiran ili rastvoreni gas
- koncentrovana jedinjenja koja razlaganjem oslobađaju gasove, ili se dobijaju rastvaranjem gasova
- fenolna jedinjenja

Postupak degazacije najčešće spada u uobičajene tehnološke postupke (solvatirani i rastvoreni gasovi), ma da ima i procesa degazacije koji spadaju u specifične tehnološke postupke.

Postupak istaloživanja se često koristi za tretman otpadnih voda za ispuštanje, kako u gradski kanalizacioni sistem, tako i u prirodne recipijente.

Materije koje se mogu izdvojiti biološkom obradom iz otpadnih voda obuhvataju sve one supstance koje podležu enzimskoj razgradnji pod dejstvom mikroorganizama (koje su "hrana" mikroorganizmima). Ove supstance se nazivaju biodegreabilne supstance.

Postupak biološke obrade kod industrijskih otpadnih voda može biti visoko složen postupak obrade usled neodgovarajućeg hemijskog sastava u industrijskim otpadnim vodama za biološku obadu, kao što su veoma aktivne toksične materije.

Odnos HPK/BPK₅ kod industrijskih otpadnih voda može da ide i do 5.

Sve to najčešće zahteva obimniji pedtetman industrijskih otpadnih voda pre biološke obade, čime se uklanjaju opasne supstance, kao i snižava HPK oksidacionim postupcima.

Samo se sanitane industrijske otpadne vode mogu direktno tretirati biološkom obradom, dok se tehničko-tehnološke industrijske otpadne vode moraju prethodno predtretirati radi uklanjanja opasnih sadržaja i snižavanja HPK.

2.2.4. KATEGORIZACIJA INDUSTRIJSKIH OTPADNIH VODA

Otpadne vode u industrijskim objektima i proizvodnim pogonima se, prema mestu i načinu nastajanja, kao i kvalitetu sadržaja, mogu svrstati, u nekoliko kategorija:

- otpadne tečnosti i emulzije
- tehnološke otpadne vode
- tehničke otpadne vode
- sanitarne otpadne vode
- atmosferske (slivne) otpadne vode

2.2.4.1. Otpadne tečnosti i emulzije

Otpadne tečnosti i emulzije su mahom koncentrovani vodeni rastvori, kao i vodene emulzije, koje se ispuštaju iz određenih tehnoloških procesa posle određenih tehnoloških postupaka u proizvodnji.

Otpadne tečnosti i emulzije mahom predstavljaju ispošćene koncentrate i emulzije, koji se koriste u određenim tehnološkim postupcima proizvodnje, a koji se, usled snižavanja koncentracije aktivne supstance, ili usled koncentrovanja sa nepoželjnim produktima, kako same reakcije, tako i mogućih nuzreakcija u procesu, više ne mogu efikasno koristiti u proizvodnji, već se moraju evakuisati.

Otpadne tečnosti i emulzije najčešće nastaju u hemijskim i elektrohemijskim reaktorima, ili sličnim procesnim uređajima i sudovima (otpadni sirupi od kristalizacija, ispošćeni elektroliti iz elektroliza i slično).

Otpadne tečnosti i emulzije sadrže ekstremno visoke koncentracije zagađujućih materija, koje se ne mogu uobičajenim postupcima, sa normalnom efikasnošću svesti na potreban nivo, kako bi zadovoljavale MDK za evakuaciju u recipijente, već se radi uklanjanja iz otpadnih voda moraju tretirati specifičnim operacijama, nekada i u nekoliko faza i postupaka u okviru tretmana.

Otpadne tečnosti i emulzije su najopasnije i najnepovoljnije, kako sa stanovišta zaštite životne sredine, zagađivanja recipijenata, tako i sa stanovišta proizvodnje, odnosno mogućnosti obrade i potrebne tehnike i tehnologije za njihovo evakuisanje iz otpadnih voda.

Otpadne tečnosti i emulzije se ne smeju upuštati niti u recipijente, niti u sistem mesne kanalizacije, bez visiko efikasne obrade, pošto svojim sadržajima ekstremno kontaminiraju vode recipijenata, sa katastrofalnim posledicama po kvalitet voda recipijenata i živi svet u njima, a takođe i visoko prelaze MDK za upuštanje u sistem mesne kanalizacije, pri čemu mogu ozbiljnije da promene odnose i ustaljene koncentracije zagađujućih materija u komunalnim otpadnim vodama.

Posledice upuštanja otpadnih tečnosti i emulzija u recipijente su ekstremno visoka kontaminacija voda recipijenata, sa katastrofalnim posledicama po živi svet, u obliku lokalnog zagađenja voda recipijenata, kao i visoka i dugotrajna kontaminacija voda recipijenata, u obliku globalnog zagađenja.

Mora se napomenuti da u ovu kategoriju otpadnih voda u industriji ne spadaju tečnosti, koncentracije, smeše i slični supstrati za proizvodnju, koji se ekcesno izliju iz reaktora, cevovoda, procesnih uređaja i skladišnih sudova tokom proizvodnih procesa.

Ove akcidentno izlivenne tečnosti i koncentracije se ne smatraju otpadnim vodama, već hazardnim tečnostima, za čiju se evakuaciju i tretman moraju predvideti posebni postupci u svakom industrijskom i drugom proizvodnom objektu, kao interventne mere i postupci u slučaju hemijskih akcidenata.

2.2.4.2. Tehnološke otpadne vode

Tehnološke otpadne vode su otpadne vode koje nastaju iz tehnoloških procesa, bilo proizvodnje, bilo obrade sirovina, repromaterijala i poluproizvoda, kao i otpadne vode od pranja hemijskih, elektrohemijskih i drugih reaktora, procesnih uređaja i sudova za obradu sirovina i preradu sirovina, poluproizvoda i repromaterijala do finalnog proizvoda.

Tehnološke otpadne vode se odlikuju visokim sadržajima zagađujućih supstanci, kao i značajnim sadržajem hemijski nestabilnih i aktivnih supstanci, koje interakcijom sa ostalim supstancama u otpadnim vodama dovode do promena hemijskih sadržaja u otpadnim vodama tokom vremena. Tako se tehnološke otpadne vode, između ostalog, odlikuju i nestabilnim hemijskim sadržajima, što značajno ometa tretman ovih voda pre evakuacije u recipijente.

Tehnološke otpadne vode se ne smeju upuštati niti u recipijente bez obrade, niti u sistem mesne kanalizacije bez visoko efikasnih predtretmana, pošto pored kontaminacije recipijenata značajnim količinama zagađujućih supstanci, svojom aktivnošću izazivaju i hemijske promene u vodi recipijenata, dok zagađujuće materije značajno prelaze MDK za upuštanje u sisteme mesne kanalizacije.

Posledice upuštanja tehnoloških otpadnih voda u recipijente su visoka kontaminacija voda recipijenata i promena uslova sredine, sa teškim posledicama po živi svet, u obliku lokalnog zagađenja voda recipijenata, kao i značajna kratkotrajna kontaminacija voda recipijenata, u obliku globalnog zagađenja.

2.2.4.3. Tehničke otpadne vode

Tehničke otpadne vode su otpadne vode iz postupaka pranja sirovina, mašina i uređaja, sudova za sirovine, repromaterijale i pomoćne materijale, pranja podova i platoa u proizvodnim objektima - pogonskim halama, kao i otpadne vode iz pomoćnih procesa u proizvodnji, kao što su hlađenje, grejanje, podmazivanje uređaja i opreme, kvašenje sirovina i repromaterijala i slično.

Tehničke otpadne vode se odlikuju uvećanim ili višim sadržajima zagađujućih supstanci, koje su relativno stabilnog karaktera, odnosno koje nisu aktivirane, niti potiču iz procesa hemijskih sinteza. Tako se tehničke otpadne vode, za razliku od tehnoloških otpadnih voda, odlikuju stabilnim hemijskim sadržajima i nižim koncentracijama zagađujućih materija, što značajno olakšava tretman tehničkih otpadnih voda pre evakuacije u recipijente.

Tehničke otpadne vode se ne smeju upuštati u recipijente bez određenog tretmana, kao ni u sistem mesne kanalizacije bez određenog predtretmana, pošto kontaminiraju recipijenate zagađujućim supstancama značajno iznad MDK, a najveći broj zagađujućih supstanci je značajno preko MDK za upuštanje u sisteme mesne kanalizacije.

Posledice upuštanja tehničkih otpadnih voda u recipijente su kontaminacija voda recipijenata preko MDK, sa posledicama po živi svet, u obliku lokalnog zagađenja voda recipijenata, kao i smanjivanje kapaciteta voda recipijenata prema zagađujućim materijama, u obliku globalnog zagađenja voda recipijenata.

2.2.4.4. Sanitarne otpadne vode

Sanitarne otpadne vode su komunalne otpadne vode iz uprava, restorana, kupatila, perionica i sličnih objekata u okviru proizvodne organizacije, kao i otpadne vode od pranja skladišta, neproizvodnih hala i magacina, platoa oko proizvodnih objekata, saobraćajnica i druge infrastrukture i slično.

Sanitarne otpadne vode se odlikuju povremenim uvećanim sadržajima zagađujućih supstanci, koje mogu biti i stabilnog i nestabilnog karaktera, odnosno koje su hemijski stabilne, ili koje podležu pre svega biodegreabilnim procesima, kada se evakušu u prirodne recipijente.

Sanitarne otpadne vode, za razliku od tehnoloških i tehničkih otpadnih voda, odlikuju se standardnim hemijskim sadržajima i niskim koncentracijama zagađujućih materija, što omogućava postavljanje standardnog tretmana sanitarnih otpadnih voda pre evakuacije u recipijente.

Sanitarne otpadne vode su slične komunalnim otpadnim vodama, od kojih su razblaženije, ali zato imaju više ranovrsnih zagađujućih materija u svom sadržaju.

Sanitarne otpadne vode se ne smeju upuštati u recipijente bez određenog tretmana, pošto kontaminiraju recipijente pojedinim zagađujućim supstancama iznad MDK, a povremeno prelaze po pojedinim zagađujućim supstancama i MDK za upuštanje u sistem mesne kanalizacije.

Posledice upuštanja sanitarnih otpadnih voda u recipijente su kontaminacija voda recipijenata organskim supstancama preko MDK, pre svega sa biodegreabilnim materijama, za čije raspadanje se troši rastvoreni kiseonik, sa mogućim povremenim posledicama po živi svet, u obliku lokalnog zagađenja voda recipijenata, dok na globalno zagađenja voda recipijenata nemaju neki značajniji uticaj, zbog autoregeneracije prirodnog prijemnika.

2.2.4.5. Atmosferske (slivne) otpadne vode

Slivne otpadne vode su otpadne vode nastale usled oticaja atmosferskih padavina, koje se slivaju sa platoa, puteva i ostale infrastrukture oko objekata u okviru proizvodne organizacije, osim sa platoa u okviru procesnih pogona i hala.

Slivne otpadne vode se odlikuju nešto uvećanim sadržajima zagađujućih supstanci, koje su stabilnog karaktera kada se evakušu u prirodne recipijente.

Slivne otpadne vode, za razliku od tehnoloških, tehničkih i sanitarnih otpadnih voda, se odlikuju niskim hemijskim sadržajima i niskim koncentracijama zagađujućih materija, što omogućava postavljanje pojedinačnih, mahom korektivnih tretmana slivnih otpadnih voda za pojedine zagađujuće materije, pre evakuacije u recipijente.

Slivne otpadne vode su najčistije otpadne vode u proizvodnim organizacijama. Slivne otpadne vode se smeju upuštati u recipijente bez tretmana, najčešće uz korektivni mehanički tretman, a u sistem mesne kanalizacije se mogu upuštati bez ikakvih tretmana ili predtretmana, pošto mogu povremeno kontaminirati recipijente pojedinačnim zagađujućim supstancama nešto iznad MDK, a uvek su ispod MDK za upuštanje u sistem mesne kanalizacije.

Atmosferske otpadne vode zimi mogu sadržati velike količine sedimenta i soli, usled posipanja kolovoza protiv zaleđivanja.

Posledice upuštanja slivnih otpadnih voda u recipijente su smanjenje kapaciteta voda recipijenata prema pojedinim zagađujućim supstancama, bez ozbiljnijih posledica po živi svet, u obliku lokalnog zagađenja voda recipijenata, dok na globalno zagađenja voda recipijenata nemaju veći uticaj.

3. ZAKONSKA REGULATIVA

Problem zaštite vode od zagađenja u direktnoj je zavisnosti od industrijskog i tehnološkog razvoja, što za posledicu ima stvaranje zakonske regulative u ovoj oblasti. Stvaranje i primena zakona za zaštitu voda od zagađenja, ima značajan uticaj na pravilno i efikasno funkcionisanje zaštite voda. Stvaranju i primeni zakonske regulative u svetu i kod nas posvećuje se posebna i velika pažnja, jer bez stvaranja i primene odgovarajućih pravnih propisa ne može se obezbediti valjana i dosledna zaštita voda od zagađivanja.

3.1. ZAKONSKA REGULATIVA U SRBIJI - ISTORIJAT, ZAKONI ODREDBE I PROPISI

Postavka pravnih normi za zaštitu voda javlja se u kraljevni Srbiji donošenjem prvog Zakona o vodama iz 1878. godine. Nakon ovog zakona donet je 1905. godine i Zakon o regulisanju i upotrebi voda. U ovim zakonima ceo problem zaštite voda svodi se na sprečavanje nekontrolisane upotrebe vode i to u smislu količina koje se koriste u strugarama, vodenicama i drugim industrijskim postrojenjima koja se pojavljuju krajem prošlog i početkom ovog veka, dok se kvalitet vode, u ovim zakonima, uopšte ne pominje. Potrebno je istaći odeljak III-b neusvojenog Zakona o vodama iz 1912. godine, jer se u ovom odeljku pod nazivom "odvođenje suvišne i nečiste vode iz naseljenih mesta", govori o uvođenju kanalizacije za naseljena mesta i uklanjanju nečistoća (fabričkih, klasičnih i drugih). U pogledu zaštite voda u recipijentu u smislu kvaliteta vode govori se nedvosmisleno u članu 8. koji kaže: "Nečista voda može se izvoditi van naseljenih mesta, ali tako da se nikome ne pričinjava šteta. Za puštanje nečiste vode u kakav vodeni tok Ministar privrede, ima pravo po saslušanju Sanitetskog saveta, propisati za svaki nađeni slučaj način zalivanja i stepen razređenosti".

U Kraljevni Jugoslaviji između Prvog i Drugog svetskog rata najvećim delom važili su zakoni države Srbije.

Zakona o vodama SFRJ usvojen je 1965. godine i iz ovog zakona su proizašli drugi zakoni koji se odnose na istu zakonodavnu oblast. Zakonom o vodama SR Srbije, koji je donet 1967. godine, definisana je zaštita voda na način koji do danas nije pretrpeo suštinske izmene, nego je u novodonetim zakonima o vodama (iz 1975, 1989. i 1991. godine) samo proširena u saglasnosti sa razvojem vodoprivrede, tehnike, tehnologije i društva u celini.

U Zakonu o vodama iz 1967. godine se određuje procedura izdavanja vodoprivredne dozvole i vodoprivredne saglasnosti kao osnovnih dokumenata kojima se vrši zaštita kvaliteta prirodnih voda. U članu 8. ovog zakona, propisuje se sadržina dokumentacije potrebne za izdavanje vodoprivredne dozvole ili saglasnosti, i između ostalog se propisuje i dokumentacija o proizvodno - tehnološkom procesu i postupku za upotrebu ili iskorišćavanje otpadnih voda. U zakonu o vodama iz 1967. godine se po prvi put pojavljuje posebno poglavlje (VI) "Zaštita voda" koje sadrži 17 članova. U članu 40. koji se odnosi na zaštitu voda, se propisuje da "... radi zaštite vode ne mogu se preduzimati radovi i mere koji bi :

- ugrozili biološki minimum u vodotoku,
- uticali na režim podzemne vode u smislu ugrožavanja snabdevanja pijaćom vodom po količini i kvalitetu i
- štetno uticali na izdašnost i kvalitet izvora pijaće, mineralne, termalne i lekovite vode, kao i na stabilnost objekta".

Članom 42. ovog zakona se propisuje da se mora doneti dokumentacija o klasifikaciji i kategorizaciji vodotoka, pri čemu se tom dokumentacijom utvrđuje:

- Opšta podela voda u klase, karakteristike svake klase, namenska upotreba pojedinih klasa i dozvoljeni stepen zagađenosti za pojedine klase voda (klasifikacija);
- Kvalitet voda prema utvrđenim klasama za glavne vodotoke i deonice vodotoka (kategorizacija vodotoka).

Ova dva dokumenta doneta su 1968. godine i danas važe (Uredba o klasifikaciji voda i Uredba o kategorizaciji vodotoka koji su priloženi su nastavku).

Zakon o vodama iz 1975. godine ne sadrži neke bitne suštinske izmene u delu koji se odnosi na zaštitu voda osim što se članom 273. tačka 1. propisuje da se donosi "Pravilnik o opasnim materijama koje se ne smeju upuštati u prirodne vode". Ovaj pravilnik je donet 1982. godine i danas je na snazi. U skladu sa promenama koje su nastupile u administrativnoj organizaciji Srbije 1989. godine u novom Zakonu o vodama je došlo do bitnih izmena u pogledu organizacije vodoprivrednih službi. U pogledu zaštite voda nema suštinskih promena u odnosu na prethodne zakone o vodama, izuzev što se uvodi (poglavlje XVII) "katastar voda, vodoprivrednih objekata, bujičnih tokova i zagađivača voda", čime se uspostavlja vrlo važan segment u zaštiti voda. Katastar zagađivača voda, koji se stalno dopunjava, znači sakupljanje i ažuriranje svih relevantnih informacija o svakom zagađivaču voda korišćenjem savremenih informacionih sistema.

Od postojećih zakonskih propisa koji regulišu zaštitu voda od zagađivanja, pored Ustava, svakako je najvažniji Zakon o vodama, Zakon o zaštiti životne sredine, Zakon o komunalnim delatnostima i podzakonska akta iz ove oblasti. Voda kao dobro u opštoj upotrebi i dobro od opšteg interesa uživa ustavnopravnu zaštitu i koristi se pod uslovima i na način koji su propisani zakonom. Ustavno - pravna zaštita od zagađenja nije posebno propisana, već se o njoj govori u sklopu odredbe o zaštiti i unapređenju životne sredine.

Po Ustavu Savezne Republike Jugoslavije (član 52.) "... čovek ima pravo na zdravu životnu sredinu i blagovremeno obaveštavanje o njenom stanju. Svako je dužan da čuva i svrsishodno koristi životnu sredinu".

Ustavom Republike Srbije (član 31.) propisano je da "... čovek ima pravo na zdravu životnu sredinu. Svako je u skladu sa zakonom dužan da štiti i unapređuje životnu sredinu".

Zakon o vodama donet 1991. godine u odnosu na prethodne zakone o vodama ne sadrži suštinske izmene u vezi zaštite voda.

Prvim članom Zakona o vodama propisano je da se tim zakonom uređuje zaštita voda, zaštita od štetnog dejstva voda, korišćenje i upravljanje vodama kao dobrom od opšteg interesa.

Zaštita voda propisana je u delu ovog zakona o vodama od člana 53. do člana 63 zakona. Pod zaštitom voda od zagađenja, zakon podrazumeva sprečavanje unošenja u vode opasnih i štetnih materija u količinama koje mogu prouzrokovati nepovoljne promene vode. Zaštita voda od zagađivanja vrši se u cilju očuvanja i poboljšanja kvaliteta i količine vode u određene svrhe, kao što je snabdevanje vodom za piće, za privredu i zaštitu životne sredine.

Zakonom o zaštiti životne sredine, u prvom članu je propisano da se tim zakonom uređuje sistem zaštite životne sredine, određuju mere zaštite, postupak stavljanja pod zaštitu i upravljanja prirodnim dobrima. U drugom stavu istog člana, propisano je da se mere i uslovi zaštite sprovode u skladu sa tim zakonom, ako za pojedine oblasti zaštite drugim zakonom nisu propisane posebne mere zaštite. U definiciji značenje pojedinih izraza ovog zakona (član 13.), rečeno je da se pod zaštitom životne sredine podrazumevaju prirodne i radom stvorene vrednosti i ukupan prostor u kome čovek živi i u kome su smeštena naselja, dobra u opštoj upotrebi, industrijski i drugi objekti, a da su prirodne vrednosti životne sredine prirodna bogatstva, zemljište, vode, šume, vazduh i biljni i životinjski svet. Zaštitu voda Zakon o vodama iz 1991. godine propisuje u delu zakona od člana 23. do člana 27.

Članom 2. Zakona o komunalnim delatnostima, pod obavljanjem komunalne delatnosti smatra se pružanje komunalnih usluga, među kojima su i "proizvodnja i ispruka vode" i "prečišćavanje i odvođenje otpadnih voda". Pri tome se pod proizvodnjom i isporukom vode smatra "proizvodnja, prerada, odvođenje, prečišćavanje i isporuka vode korisnicima vode za piće i druge potrebe...", a prečišćavanjem i odvođenjem otpadnih voda se smatra "sabiranje iskorišćenih voda od priključaka potrošača na uličnu mrežu, odvođenje kanalizacionom mrežom, prečišćavanje i ispuštanje iz mreže, kao i čišćenje septičkih jama.

U vezi sa članom 2 i članom 4. Zakona o vodama, propisano je da se pod vodoprivrednim objektima smatraju i "objekti za korišćenje voda: akumulacije, vodozahvati, crpne stanice, rezervoari za snabdevanje vodom, magistralni cevovodi i kanali sa objektima, postrojenja za pripremu pitke vode i objekti za zaštitu vode: glavni kolektor za dovođenje otpadnih voda do uređaja za njihovo prečišćavanje, uređaji za prečišćavanje otpadnih voda i objekti za odvođenje otpadnih voda".

Iz napred izloženog proizilazi da se zaštita voda od zagađivanja prvenstveno osigurava zakonskim propisima, vodoprivrednom osnovom, vodoprivrednom saglasnošću za objekte i postrojenja koja mogu uticati na kvalitet i količinu voda, vodoprivrednom dozvolom, izgradnjom uređaja za prečišćavanje zagađenih voda, zabranom ili ograničenjem unošenja u vode određenih materija, ekonomskim, administrativnim, kaznenim i drugim zaštitnim merama.

Zaštitne mere su :

1. Određivanje zaštitnih zona i pojaseva u kojima je zabranjeno ili ograničeno vršenje određenih delatnosti;
2. Zabrana unošenja u vode određenih opasnih materija;
3. Zabrana ili ograničenje unošenja u vode štetnih materija ili ispuštanje zagađenih voda;
4. Izgradnja objekta ili postrojenja za prečišćavanje zagađenih voda;
5. Zabrana deponovanja ili unošenja otkopanih otpadnih ili drugih sličnih materija na obale i u korita vodotoka, jezera i akumulacija;
6. Zabrana ispuštanja vode sa temperaturom koja bi mogla naškoditi biljkama i životinjama u vodi;
7. Zabranjena uvođenja u podzemne vode svih materija koje mogu izazvati zagađivanje;
8. Zabrana unošenja u vode radioaktivnih materija iznad propisanih granica;
9. Zabrana ispuštanja i izbacivanja mineralnih ulja;
10. Zagađivanje ledenih pokrivača prirodnih i veštačkih vodotoka i jezera;
11. Zabrana korišćenja napuštenih bunara kao septičkih jama i druge slične mere, radi sprečavanja promene osobine vode, ako su te promene opasne ili štetne za život i zdravlje ljudi, riba i životinja ili za biljni svet.

Mere zaštite vode određuju u okviru svojih ovlašćenja organ uprave nadležan za vodoprivredu, vodoprivredna inspekcija i sanitarna inspekcija. Mere za zaštitu voda određuju se prilikom izdavanja vodoprivredne dozvole, kao i prilikom odobrenja projekta za izgradnju vodoprivrednih objekata i postrojenja vezanih za upotrebu i iskorišćavanje vode.

Može se reći da je zaštita voda usmerena ka zaštiti vode kao resursa, vodoprivrednih sistema i prostora na kome će se realizovati budući vodoprivredni sistemi, zaštita životne sredine i sl.

U oblasti zaštite voda, zakon je propisao određene obaveze za preduzeća i druga pravna lica i građane.

Komunalna i druga preduzeća koja ispuštaju otpadne vode u prijemnike i javnu kanalizaciju dužna su da postave uređej za merenje, radi registrovanja količine otpadnih voda. Istovremeno su obavezna da ispituju kvalitet vode koju ispuštaju.

Organizacije koje vrše određenu vrstu ispitivanja kvaliteta (fizičko - hemijsku, hidrobiološku, mikrobiološku, radiološku) površinskih i podzemnih voda su dužna da rezultate ispitivanja i obaveštavanje o havarijskom zagađenju dostave vodoprivrednim organizacijama i hidrometeorološkom zavodu.

U slučaju da dođe do neposredne opasnosti od zagađenja vode primenjuju se mere smanjenja zagađenja (sanacija i druge mere).

Za zaštitu vode od zagađivanja, pored mera propisanih zakonom donosi se niz podzakonskih akata koji regulišu ovo pitanje.

Tako se podzakonskim aktima regulišu sledeća pitanja:

- klasifikacija voda i kategorizacija vodotoka koje bliže propisuje Vlada Srbije,
- propis o opasnim i štetnim materijama koji propisuje ministar zdravlja i odnosno ministar zaštite životne sredine,
- propis o sanitarno - tehničkim uslovima za ispuštanje otpadnih voda u javnu kanalizaciju koje donosi skupština opštine,
- propis o načinu ispitivanja kvaliteta voda koji donosi ministar vodoprivrede i ministar zdravlja i zaštite životne sredine,
- propis o načinu i postupku ispitivanja kvaliteta otpadnih voda, minimalnom broju ispitivanja i sadržini izveštaja o utvrđenom kvalitetu otpadnih voda koji donosi ministar vodoprivrede i ministar zdravlja odnosno ministar zaštite životne sredine,
- propis o uslovima koje moraju da ispunjavaju organizacije i druga pravna lica koja vrše ispitivanje kvaliteta površinskih i podzemnih voda koji donosi ministar vodoprivrede odnosno ministar zdravlja odnosno ministar zaštite životne sredine.

UPUTSTVO O NAČINU I POSTUPKU ZA UTVRĐIVANJE POSTIGNUTOG STEPENA PREČIŠĆAVANJA ISPUŠTENE ZAGAĐENE VODE

(Uputstvo je objavljeno u "Službenom glasniku SRS", br. 9/67)

1. Utvrđivanje stepena prečišćavanja ispuštene zagađene vode vrše radne organizacije koje ispunjavaju uslove iz člana 4. stav 1. Zakona o visini vodnog doprinosa u periodu do 1970. godine (dalje: Izvođač).
2. Utvrđivanje stepena prečišćavanja ispuštene zagađene vode vrši se analizom uzoraka ove vode.
Analiza uzoraka vrši se po potrebi, zavisno od procesa proizvodnje, a najmanje tri puta u toku godine, ali tako da uzorci uzeti za analizu pokazuju najnepovoljnije kvalitativno stanje ispuštene zagađene vode.
3. Uzorci vode uzimaju se ispred i iza uređaja za prečišćavanje ispuštene zagađene vode, odnosno iz kolektora otpadne vode, ali pre mešanja ove vode sa vodom u prijemniku (recipijentu).
Uzorci vode zahvataju se u vreme rada postrojenja u jednakim vremenskim razmacima u toku radnog dana.
Od serije uzoraka iz prethodnog stava, prema redosledu uzimanja, prave se najmanje dve srednje probe od kojih se proba koja pokazuje najnepovoljnije stanje kvaliteta vode uzima za dalje ispitivanje.
4. Uzorke vode zahvata izvođač u prisustvu predstavnika obveznika vodnog doprinosa, pošto prethodno prouči tehnološki proces proizvodnje obveznika vodnog doprinosa i način ispuštanja zagađene vode.
O zahvatanju uzoraka vode sastavlja se zapisnik. Zapisnik se prilaže uz nalaz i mišljenje o kvalitetu uzoraka vode.
5. Ako se po zahtevu obveznika ispitivanje kvaliteta ispuštene zagađene vode i postignutog stepena prečišćavanja vrši prvi put, potrebno je izvršiti najmanje tri analize. Uzorci vode za ove analize ne mogu se zahtevati u toku istog dana.
6. Analiza uzoraka vode vrši se na sledeći način:
 - a) vizuelno se utvrđuje prisustvo plivajućih materija, uključujući i ulje, i rezultat se iskazuje sa: ima - nema;
 - b) vrednost pH se određuje na terenu primenom proverenog elektrometrijskog pH-metra, u laboratoriji obveznika, ako raspolaže takvim instrumentom, ili baterijskim pH-metrom, ili kolorimetrijski, uz upotrebu dva indikatora ili kolorimetrijskog komparatora sa pločama čija je podela bar na 0.2 jedinice pH.
Prisustvo i koncentracija fenola određuje se kao ukupan fenol sa naznačenjem metode po kojoj je analiza rađena. Prisustvo ostalih toksičnih materija ispituje se u zavisnosti od tehnološkog procesa proizvodnje.
Uzorci vode za analizu i laboratoriji izvođača propisno se konzerviraju prema uputstvu za odgovarajuće metode;
 - v) utvrđuje se sadržaj lebdećih materija kao kvantitativni ostatak na filter-hartiji;
 - g) određuje se BPK₅ (petodnevna biohemijska potrošnja kiseonika) u sirovoj i prečišćenoj vodi u najmanje tri razblaženja, u vodenom kupatilu ili u termostatu na 20 ± 10 °C u mraku.
Kod uzoraka prečišćene vode treba predivdeti mere za sprečavanje procesa nitrifikacije u uzorcima u toku inkubacije.
Kod industrijskih voda koje sadrže toksične materije određuje se i HPK (hemijska potrošnja kiseonika bihromatnom ili jodidnom metodom) .

7. Analiza uzoraka vode vrše se prema postupku utvrđenom u Pravilniku o vrstama i načinu posmatranja i ispitivanja kvantitativnih ili kvalitativnih promena voda ("Službeni list SFRJ" br. 42/66).
Ako pravilnikom iz prethodnog stava nije utvrđen postupak za vršenje pojedinih analiza, ove analize vrše se prema ustaljenoj praksi izvođača, sa naznačenjem primenjene metode.
8. Izvođač daje mišljenje o kvalitetu ispuštene zagađene vode i o postignutom stepenu prečišćavanja prema najnepovoljnijem rezultatu. Mišljenju izvođača, sa naznačenjem primenjene metode.
8. Izvođač daje mišljenje o kvalitetu ispuštene zagađene vode i postignutom stepenu prečišćavanja prema najnepovoljnijem rezultatu. Mišljenju izvođača prilažu se i rezultati analize.
9. Obrazac zapisnika o zahvatanju uzoraka vode, koji je odštampan uz ovo uputstvo, sastavni je deo ovog uputstva.
10. Ovo uputstvo stupa na snagu osmog dana od dana objavljivanja u "Službenom glasniku SRS".

**KOMENTAR UPUTSTVA O NAČINU I POSTUPKU ZA UTVRĐIVANJE
POSTIGNUTOG STEPENA PREČIŠĆAVANJA ISPUŠTENE ZAGAĐENE VODE**

Ovim uputstvom je propisan način utvrđivanja stepena prečišćavanja ispuštene zagađene vode, način uzimanja uzoraka za analizu, mesta uzimanja uzoraka i vreme uzimanja. Pored toga, propisana je obaveza da se uzimanje uzoraka vrši u prisustvu predstavnika obveznika vodnog doprinosa, uz zapisnik o nalazu i mišljenje o kvalitetu uzoraka vode. Obrazac zapisnika je sastavi deo Uputstva.

ZAPISNIK O ZAHVATANJU UZORAKA ISPUŠTENE ZAGAĐENE VODE

1. Naziv preduzeća.....
2. Mesto i opština.....
3. Pogon (vrsta).....
4. a) finalni proizvod.....
- b) sirovine.....
- c) korišćenje pogona u vreme uzimanja uzoraka vezanih za ispuštanje
 zagađene vode.....
5. Raspored utroška vode na pojedine procese proizvodnje:
 - a) proizvodnja pare.....
 - b) hlađenje mašine.....
 - c) pranje u procesu produkcije.....
 - d) ostalo.....
6. Ispuštanje otpadne vode
 - a) način ispuštanja(gravitacijom ili crpkom)
.....
 - b) da li neprekidno ili povremeno i u kakvim razmacima i količinama.....
.....
 - c) količina u m³/sec.....
 - d) glavne fizičke - hemijske karakteristike efluenta (temperatura, suspencija,
..... ostrovne materije i dr).
.....
7. Da li se primenjuje vraćanje upotrebljene vode u proces proizvodnje i u kojoj meri.....
.....
8. Postoje li uređaji za prečišćavanje ispuštene vode: vrsta, kako funkcionišu i njihova
efikasnost (dati u prilogu kratak opis sa skicama)
.....
10. Napomena.....
11. Datum uzimanja uzoraka.....

Potpis prisutnih lica

**PRAVILNIK O NAČINU I MINIMALNOM BROJU ISPITIVANJA
KVALITETA OTPADNIH VODA**

(Pravilnik je objavljen u "Službenom glasniku SRS" br. 47/83 i 13/84)

Član 1.

Kvalitet otpadnih voda ispituje se za svaki izliv i to pre mešanja otpadnih voda sa vodama prijemnika.

Član 2.

Ispitivanje kvaliteta otpadnih voda vrši se putem uzoraka.

Uzorci se uzimaju u približno jednakim vremenskim intervalima, a u različitim režimima ispuštanja otpadnih voda.

Član 3.

Pod uzorkom za analizu u smislu ovog pravilnika podrazumeva se dvočasovni kompozitni sadržaj dobijen mešavinom sadržaja zahvaćenih svakih 15 minuta u toku dva časa.

Pokazatelji kvaliteta otpadnih voda utvrđuju se iz uzorka.

Izuzetno od stava 2. ovog člana temperatura vode se uzračunava kao srednja vrednost iz pojedinih sadržaja.

Član 4.

Za ispitivanje kvaliteta otpadnih voda obezbeđuje se sledeći opšti pokazatelji:

- hemijska potrošnja kiseonika (bihromatna metoda),
- suspendovane materije;
- biohemijska potrošnja kiseonika, petodneva,
- pH vrednost,
- temperatura vode,
- ukupan broj koliformnih organizama.

Ukoliko se otpadne vode ispuštaju u vodotok ili jezera koja služe za vodosnabdevanje, pored pokazatelja iz stava 1. ovog člana obezbeđuju se podaci o ukupnom azotu i ukupnom forosoru.

Član 5.

U slučaju kada treba da se ispituje kvalitet otpadnih voda specifičnog sadržaja, pored opštih pokazatelja iz člana 4. stav 1. ovog pravilnika, obezbeđuju se i pokazatelji koji služe za virusološku kontrolu, kao i pokazatelji za utvrđivanje koncentracije radio-aktivnih nukleida, teških metala, i drugih specifičnih sastojaka otpadnih voda.

Uz podatke iz čl. 4 i 5 ovog pravilnika, prilikom uzimanja uzoraka utvrđuju se i obezbeđuju podaci:

- o promeni boje,
- vidljivim otpadnim materijama,
- o prisustvu i vrsti mirisa,
- o temperaturi vazduha,
- o količini protoka otpadnih voda u momentu uzimanja uzorka,
- i o drugim karakterističnim zapažanjima.

Član 7.

Minimalni broj uzoraka za ispitivanje kvaliteta otpadnih voda za svaki izliv otpadne vode u prijemnik iznosi:

Kol. otpad. vode na izlivu u l/s		Otpadne vode koje sadrže opasne materije		Ostale otpadne vode	
od	do	God. broj uzoraka	Frekve. ispitivanja	God. broj uzoraka	Frekve. ispitivanja
1	50	4	jedanput u 3 mes.	3	jedanput u 4 mes.
50	100	6	jedanput u 2 mes.	4	jedanput u 3 mes.
100	500	12	jedanput mesečno	6	jedanput u 2 mes.
preko 500		24	dvaput mesečno	12	jedanput mesečno

Član 8.

Ovaj pravilnik stupa na snagu osmog dana od dana objavljivanja u "Službenom glasniku SRS".

KOMENTAR O NAČINU I MINIMALNOM BROJU ISPITIVANJA KVALITETA OTPADNIH VODA

Ovim pravilnikom je propisano ispitivanje kvaliteta otpadnih voda pre njihovog mešanja sa vodama prijemnika. Ispitivanje se vrši putem uzoraka, na način kako je ovim pravilnikom određeno.

UREDBA O KLASIFIKACIJI VODA MEĐUREPUBLIČKIH VODOTOKA, MEĐUDRŽAVNIH VODA I VODA OBALNOG MORA JUGOSLAVIJE

(Uredba je objavljena u Službenom listu SFRJ broj 33/87)

Član 1.

Vode međurepubličkih vodotoka, međudržavne vode i vode obalnog mora Jugoslavije, osim mineralnih i termalnih voda, prema njihovoj nameni i stepenu čistoće, razvrstavaju se u četiri klase.

Član 2.

Vode međurepubličkih vodotoka i međudržavne vode se, prema njihovoj nameni i stepenu čistoće, razvrstavaju u sledeće klase:

- 1) I klasa - vode koje se u prirodnom stanju, uz eventualnu dezinfekciju, mogu upotrebljavati za piće i u prehrambenoj industriji, a površinske vode, za gajenje plemenitih vrsta riba (salmonide);
- 2) II klasa - vode koje se u prirodnom stanju mogu upotrebljavati za kupanje i rekreaciju građana, za sportove na vode, za gajenje drugih vrsta riba (ciprinide), ili koje se uz uobičajene metode obrade - kondicioniranja (koagulacija, filtracija dezinfekcija i sl.) mogu upotrebljavati za piće i u prehrambenoj industriji;
- 3) III klasa - vode koje se mogu upotrebljavati za navodnjavanje, a posle uobičajenih metoda obrade (kondicioniranja) - i u industriji, osim u prehrambenoj industriji;
- 4) IV klasa - vode koje se mogu upotrebljavati za druge namene samo posle odgovarajuće obrade.

Član 3.

Vode razvrstane u klase iz člana 2. ove uredbe moraju po svojim fizičkim, hemijskim, biološkim i radioaktivnim osobinama (svojstvima) odgovarati sledećim uslovima:

N°	POKAZATELJI	KLASA I	KLASA II	KLASA III	KLASA IV
1.	Rastvoreni kiseonik mg/l najmanje (ne primenjuje se na podzemne vode i prirodna jezera u:	8	6	4	3
2.	Zasićenost kiseonikom u procentu: - saturacija - supersaturacija	90 do 105 -	75 do 90 105 do 115	50 do 75 115 do 125	30 do 50 125 do 130
3.	Petodnevna biohemijska potrošnja kiseonika pri temperaturi od 20°C (BPK ₅) u mgO ₂ /l, do	2	4	7	20
4.	Hemijska potrošnja kiseonika (HPK) iz KMnO ₄ , mgO ₂ /l, do	10	12	20	40
5.	Stepen saprobnosti prema Liebmanu (ne primenjuje se na podzemne vode i prirodna jezera)	oligo-saprobni	mezo-saprobni beta -alfa	mezo-saprobni alfa-beta	alfa mezo-saprobni do poli-saprobni
6.	Stepen biološke produktivnosti (primenjuje se samo na jezera)	oligotrofni	umereno eutrofni	-	-
7.	Suspendovane materije u mg/l, do	10	30	80	100
8.	Suvi ostatak filtrirane vode u mg/l, - za površinske vode - podzemne vode: na kršu van krša	350* 350 800	1000 1000 1000	1500 1500 1500	1500 - -
9.	pH vrednosti	6.8 - 8.5	6.8 - 8.5	6.0 - 9.0	6.0 - 9.0
10.	Vidljive otpadne materije	bez	bez	bez	bez
11.	Primetna boja	bez	bez	slabo primetna	-
12.	Primetni miris	bez	bez	slabno primetni	-
13.	Najverovatniji broj koliformnih klica u litru vode, do: - za kupanje	2000 -	100 000 20 000	200 000 -	- -
14.	Toksične materije, izmena temperature i drugi pokazatelji štetnosti	Ne smeju se nalaziti ni u jednoj klasi iznad propisane granice.			
15.	Stepen radioaktivnosti	<p>Ukupna aktivnost tečnih radioaktivnih otpadnih materija koje se u toku jedne godine mogu izliti u reku izračunava se po sledećem obrascu:</p> $A_i = \frac{Q \cdot (MDK)_i}{F}$ <p>A_i = ukupna aktivnost i-tog radio nuklida koja se ispušta u reku u toku jedne godine u Ci (MDK)_i = najveća dozvoljena koncentracija i-tog radionuklida u vodi za piće za pojedince koji ne rade sa izvorima jonizujućih zračenja Ci/m³; Q = prosečni godišnji protok reke u m³; F = faktor sigurnosti rezerve, koji je neimenovan broj i zavisi od radio-ekoloških i hidrodinamičkih uslova reke, od namene rečne vode, od broja i položaja izlivnih masa, od radijacione situacije u rečnom slivu, kao i od drugih podataka, a određuje se tako da se obezbedi zaštita od jonizirajućih zračenja.</p>			

* ili najmanje koliko mu je prirodni sadržaj - znači nema ograničenja.

Član 4.

Uslovi iz člana 3. ove uredbe (pokazatelji i njihove granične vrednosti) primenjuju se:

- 1) na vodotoke sa neregulisanim proticajem: za sve proticaje jednake ili veće od mesečnih malih voda 95% obezbeđenosti;
- 2) na vodotoke sa regulisanim proticajem: za proticaje veće od garantovane male vode;
- 3) na podzemne vode: za sve protoke i nivoe;
- 4) na jezera: za nepovoljne slučajeve mešanja vode (za vreme postojanja leda u kritičnim letnjim mesecima).

Član 5.

Vode obalnog mora Jugoslavije, prema njihovoj nameni, razvrstavaju se u sledeće klase:

- 1) I klasa - vode u kojima se mogu uzgajati ostrige i školjke;
- 2) II klase - vode koje se mogu koristiti za kupanje, rekreaciju i sportove na vodi;
- 3) III klase - vode koje se mogu koristiti za ribarstvo;
- 4) IV klase - vode zatvorenih luka obalnog mora Jugoslavije.

Član 6.

Vode obalnog mora Jugoslavije razvrstane u klase iz člana 5. ove uredbe moraju po svojim fizičkim, hemijskim, biološkim i radioaktivnim osobinama (svojstvima) odgovarati sledećim uslovima:

N°	POKAZATELJI	KLASA I	KLASA II	KLASA III	KLASA IV
1.	Suspendovane materija u mg/l, do:	10	20	60	-
2.	Najverovatniji broj koliformnih klica u litri vode, do:	100	5000	200000	više od 200 000
3.	Kiseonik u procentu zasićenja, više od:	70	60	40	20
4.	pH vrednosti 8.1:	± 0.2*	± 0.3*	± 0.3*	± 0.4*
5.	Stepen biološke produktivnosti	oligotrof.	oligotrof.	oligotrof.	eutrof.
6.	Povećanje prirodne temperature	0 °C	2 °C	3 °C	12 °C
7.	Vidljive otpadne materije	bez	bez	bez	bez
8.	Ulje, nafta, naftni derivati (na površini) u mg/l	0.05	1	10	100
9.	Površinske otpadne materije lili ekvivalenti T-x-100/litar	0.05	1	10	100
10.	Stepen radioaktivnosti u Ve/litri	Ukupni radio-nuklidi ne smeju se nalaziti ni u jednoj klasi iznad maksimalno dozvoljenih koncentracija alfa - 0.1, a beta 1.0			
11.	Toksične materije, izmena temperature i drugi pokazatelji štetni	Ne smeju se nalaziti ni u jednoj klasi iznad popisane granice.			

* Više pH vrednosti mogu se tolerisati ukoliko je smanjen salinitet radi dotoka prirodne slatke vode.

Član 7.

Određivanje merodavnih vrednosti za pokazatelje iz čl. 3 i 5 ove uredbe, vrši se na osnovu rezultata ispitivanja, i to:

- 1) ako je u toku jedne godine izvršeno više od 24 ispitivanja za merodavnu vrednost uzima se veličina iz statičke obrade koja odgovara 95% obezbeđenosti;
- 2) ako je u toku jedne godine izvršeno manje od 24 ispitivanja za merodavnu vrednost uzima se veličina aritmetičke sredine iz dve najnepovoljnije opažene vrednosti.

Član 8.

Kategorizacija međurepubličkih vodotka, međudržavnih voda i voda obalnog mora Jugoslavije uskladiće se sa odredbama ove uredbe u roku 10 meseci od dana stupanja na snagu ove uredbe.

Član 9.

Ova uredba stupa na snagu osmog dana od dana objavljivanja u "Službenom listu SFRJ".

UREDBA O KLASIFIKACIJI VODA

(Uredba je objavljena u u Službenom glasniku Socijalističke Republike Srbije broj 5/68)

Član 1.

Ovom uredbom utvrđuje se, prema stepenu zagađenosti i nameni, opšta podela u četiri klase. Odredba stava 1. ovog člana ne odnosi se na mineralne i termalne vode.

Član 2.

Pojedine klase vode obuhvataju:

1. Klasa I - vode koje se u prirodnim stanju ili posle dezinfekcije mogu upotrebljavati ili iskorišćavati za snabdevanje naselja vodom za piće, u prehrambenoj industriji i za gajenje plemenitih vrsta riba (salmonida);
2. Klasa II - vode koje su podesne za kupanje, rekreaciju i sportove na vode, za gajenje manje plemenitih vrsta riba (ciprinida), kao i vode koje se uz normalne metode obrade (koagulacija, filtracija i dezinfekcija) mogu upotrebljavati za snabdevanje naselja vodom za piće i u prehrambenoj industriji;
3. Klasa III - vode koje se mogu upotrebljavati ili iskorišćavati za navodnjavanje i u industriji, osim prehrambenoj industriji;
4. Klasa IV - vode koje se mogu upotrebljavati ili iskorišćavati samo posle posebne obrade.

Član 3.

Vode klase II, van graničnih tokova i tokova presečenih granicom Socijalističke Republike Srbije, dele se na potklase i to:

- Potklasa IIa, koja obuhvata vode koje se uz normalne metode obrade (koagulacija, filtracija i dezinfekcija) mogu upotrebljavati za snabdevanje naselja vodom za piće, za kupanje i u prehrambenoj industriji, i
- Potklasa IIb, koja obuhvata vode koje se mogu iskorišćavati ili upotrebljavati za sportove na vodi, rekreaciju, za gajenje manje plemenitih vrsta riba (ciprinida) i za pojenje stoke.

Član 4.

Podela vode u klase i potklase iz člana 2. i 3. ove uredbe vrši se na osnovu pokazatelja i njihovih graničnih vrednosti.

Pokazatelji i njihove granične vrednosti za pojedine klase i potklase jesu:

N°	POKAZATELJI	Klasa I	Klasa II	Potklasa IIa	Potklasa IIb	Klasa III	Klasa IV
1.	Suspendovane materije pri suvom vremenu u mg/l, najviše do:	10	30	30	40	80	-
2.	Ukupni suvi ostatak pri suvom vremenu u mg/l, najviše do: - za površ. vode i prirodna jezera - za podzemne vode	350 800	1000 1000	1000 1000	1500 1000	1500 1500	-
3.	pH vrednost	6.8 - 8.5	6.8 - 8.5	6.8 - 8.5	6.5 - 8.5	6.0 - 9.0	-
4.	Rastvoreni kiseonik u mg/l, najmanje (ne primenjuje se na podzemne vode i prirodna jezera)	8	6	6	5	4	0.5
5.	Petodnevna biohemijska potrošnja kiseonika u mg/l, najviše do	2	4	4	6	7	-
6.	Stepen saprobnosti prema Libmanu (ne primenjuje se na podzemne vode i prirodna jezera)	oligosaprobni	betamezoprobnost	betamezoprobnost	beta alfa mezoprobnost	alfamezoprobnost	-
7.	Stepen biološke produktivnosti (primenjuje se samo za jezera)	oligotrofnost	eutrofnost	eutrofnost	-	-	-
8.	Najverovatniji broj koliformnih klica u 100 ml. vode najviše do	200	6000	6000	10000	-	-
9.	Vidljive otpadne materije	bez	bez	bez	bez	bez	bez
10.	Primetna boja	bez	bez	bez	bez	-	-
11.	Primetan miris	bez	bez	bez	bez	-	-

Član 5.

Pokazatelji i njihove granične vrednosti iz člana 4. ove uredbe primenjuju se na vode:

- kod vodotoka sa neregulisanim proticajem za srednji mesečni proticaj malih voda 95% obezbeđenosti;
- kod vodotoka sa regulisanim proticajem za garantovanu malu vodu;
- kod podzemnih voda za sve protoke;
- kod jezera za nepovoljne slučajeve mešanja vode (za vreme pristojanja leda i u kritičnim letnjim mesecima).

Član 6.

Ova uredba stupa na snagu osmog dana od dana objavljivanja u "Službenom glasniku Socijalističke Republike Srbije".

UREDBA O KATEGORIZACIJI VODOTOKA

(Uredba je objavljena u u Službenom glasniku Socijalističke Republike Srbije broj 5/68)

Član 1.

Vodotoci, potesi vodotoka i jezera u Socijalističkoj Republici Srbiji (dalje: vodotoci) razvrstavaju se prema klasama i potklasama voda iz člana 2. i 3. Uredbe o klasifikaciji voda u kategorije utvrđene ovom uredbom.

Kategorije vodotoka utvrđene su po slivovima u posebnom spisku koji čini sastavni deo ove uredbe.

Član 2.

Veštačka jezera koja nisu navedena u spisku iz člana 1. stav 2. ove uredbe razvrstavaju se u onu kategoriju u koju je razvrstan vodotok odnosno potes vodotoka na kojem se jezero nalazi.

Član 3.

Izvorišta svih vodotoka razvrstavaju se u kategoriju I.

U kategoriju I razvrstavaju se i prirodna jezera koja nisu navedena u spisku iz člana 1. stav 2. ove uredbe.

Član 4.

Stepen prečišćavanja zagađenih voda kao i režim ispuštanja tih voda moraju obezbeđivati održavanje kategorija vodotoka utvrđenih u spisku iz člana 1. stav 2. ove uredbe.

Ako korisnici voda postupe protivno odredbama iz prethodnog stava, republički odnosno pokrajinski organ uprave nadležan za vodoprivredu odrediće prema njima zaštitne mere iz člana 60. stav 1. Osnovnog zakona o vodama, osim zaštitnih mera na vodama iz člana 43. Zakona o vodama koje će odrediti opštinska skupština na čijoj se teritoriji nalaze te vode.

Član 5.

Ova uredba stupa na snagu osmog dana od dana objavljivanja u "Službenom glasniku Socijalističke Republike Srbije".

SPISAK VODOTOKA SA KATEGORIJAMA

I. Sliv Zapadne Morave	Kategorija
1. Đetinja: od izvorišta - do ušća reke Sušice	I
2. Sušica: od Čajetine - do ušća u Đetinju	IIa
3. Đetinja: od ušća reke Sušice - do Užica	IIa
4. Đetinja: od Užica - do ušća u Zapadnu Moravu	IV
5. Skrapež: od izvorišta - do Kosjerića	I
6. Skrapež: od Kosjerića - do ušća u Đetinju	IIa
7. Moravica: od izvorišta - do Ivanjice	I
8. Moravica: od Ivanjice - do ušća reke Panjice	IIb
9. Moravica: od ušća reke Panjice - do ušća u reku Đetinju	IIa
10. Rzvav: od izvorišta - do Arilja	I
11. Zapadna Morava: od ušća reke Đetinje - do uspora akumul. Ovčar Banje	IIb
12. Bjelica: od izvorišta - do ušća reke Pćanske	I
13. Bjelica: od ušća reke Pćanske - do Lučana	IIa
14. Zapadna Morava: od uspora akumulacije Ovčar Banje do Čačka	IIa
15. Despotovica: od izvorišta - do ušća u reku Dičinu	IV
16. Dičina: od ušća reke Despotovice - do ušća u reku Čemernicu	IIb
17. Čemernica: od izvorišta - do ušća reke Plane	I
18. Čemernica: od ušća reke Plane - do ušća reke Dičine	IIa
19. Čemernica: od ušća reke Dičine - do ušća u Zapadnu Moravu	IIb
20. Zapadna Morava: od Čačka - do ušća reke Lipničke	IIb
21. Zapadna Morava: od ušća Lipničke reke - do ušća Ibra	IIa
22. Ibar: od granice SR Crne gore - do Gazivoda	I
23. Ibar: od Gazivoda - do ušća reke Sitnice	IIa
24. Vidrenjak: od izvorišta - do Tutina	I
25. Vidrenjak: od Tutina - do ušća u reku Ibar	IIb
26. Crnovljeva: od izvorišta - do sela Račak	I
27. Crnovljeva: od sela Račak - do ušća u Sitnicu	IIa
28. Sitnica: od izvorišta - do Lipljana	I
29. Sitnica: od Lipljana - do ušća Prištevke	IIb
30. Gračanka: od izvorišta - do uspora akumulacije "Gračanka"	IIb
31. Gračanka: od uspora akumulacije "Gračanka" - do ušća u Sitnicu	IIb
32. Drenica: od izvorišta - do ušća u Sitnicu	IIa
33. Prištevka: od izvorišta - od Prištine	I
34. Prištevka: od Prištine - do ušća u Sitnicu	IV
35. Sitnica: od ušća reke Prištevke - do ušća u Ibar	IV
36. Lab: od izvorišta - do reka Palatna	I
37. Lab: od sela Palatna - do ušća u Sitnicu	IIa
38. Ibar: od ušća Sitnice - do ušća reke Studenice	IIb
39. Raška: od izvorišta - do Novog Pazara	I
40. Raška: od Novog Pazara - do ušća u Ibar	IIb
41. Studenica: od izvorišta - do ušća u Ibar	I
42. Ibar: od ušća Studenice - do ušća u Zapadnu Moravu	IIa
43. Zapadna Morava: od ušća reke Ibra - do ušća reke Rasine	IIa
44. Gruža: od izvorišta - do ušća reke Kameničke	I
45. Gruža: od ušća reke Kamenice - do ušća u Zapadnu Moravu	IIa
46. Pepeljuša: od izvorišta - do ušća	IIa
47. Rasina: od izvorišta - do sela Melentija	I

-
48. Rasina: od sela Melentija - do ušća u Zapadnu Moravu IIa
49. Zapadna Morava: od ušća reke Rasine - do Stalaća IIb

II Sliv Južne Morave

50. Binačka Morava: od izvorišta - do Binača I
51. Binačka Morava: od sela Binača - do Gnjilana IIa
52. Žegranska reka: od izvorišta - do ušća u Binačku Moravu I
53. Binačka Morava: od Gnjilana - do ušća reke Prilepničke IIb
54. Binačka Morava: od ušća reke Prilepničke - do ušća reke Moravice IIa
55. Kriva Reka: od izvorišta - do sela Krljeva..... I
56. Kriva Reka: od sela Krljeva - do ušća u Binačku Moravu..... IIa
57. Ogoška reka: od izvorišta - do ušća IIa
58. Moravica: od izvorišta - do Binačke Morave IIa
59. Južna Morava: od Bujanovca - do Predejana IIb
60. Banjska: od izvorišta - do ušća u Južnu Moravu I
61. Vrla: od izvorišta - do Surdulice..... I
62. Vrla: od Surdulice - do ušća u Južnu Moravu I
63. Južna Morava: od Predejana - do Grdelice IIa
64. Južna Morava: od Grdelice - do ušća Vlasine IIb
65. Vlasinsko jezero:..... I
66. Vlasina: od Vlasinskog jezera - do ušća reke Lužnice I
67. Lužnica: od izvorišta do ušća u reku Vlasinu..... IIa
68. Vlasina: od ušća reke Lužnice - do ušća u Južnu Moravu..... IIa
69. Južna Morava: od ušća reke Vlasine - do ušća Jablanice IIa
70. Južna Morava: od ušća reke Jablanice - do reke Turije IIb
71. Veternica: od izvorišta - do Vučja I
72. Veternica: od Vučja - do ušća u Jablanicu..... IIb
73. Golema Reka: od izvorišta - do sela Sjarine..... I
74. Jablanica: od sela Sjarine - do Medveđa IIa
75. Jablanica: od Medveđa - do ušća u Južnu Moravu IIb
76. Kosanica: od izvorišta - do ušća Prolomske reke I
77. Kosanica: od ušća Prolomske reke - do ušća IIa
78. Toplica: od izvorišta - do sela Dankovica I
79. Toplica: od sela Dankovice - do Prokuplja IIa
80. Toplica: od Prokuplja - do ušća u Južnu Moravu..... IIb
81. Nišava: od bugarske granice - do Dimitrovgrada..... II
82. Nišava: od Dimitrovgrada - do Ušća reke Temske IIb
83. Jerma: od izvorišta - do bugarske granice..... II
84. Jerma: od bugarske granice - do ušća u Nišavu..... II
85. Visočica: od izvorišta - do ušća u Temšticu I
86. Toplodolska reka: od izvorišta - do ušća u Temšicu I
87. Temšica: od ušća reke Vosičice - do ušća u Nišavu IIa
88. Nišava: od ušća reke Temšice - do Niša..... IIa
89. Nišava: od Niša - do ušća u Južnu Moravu IIb
90. Južna Morava: od ušća reke Turije - do ušća reke Moravice IIa
91. Moravica: od izvorišta - do Sokobanje IIa
92. Moravica: od Sokobanje - do sela Trubarevca IIb
93. Moravica: od sela Trubarevca - do ušća u Južnu Moravu IIa
94. Južna Morava: od ušća reke Moravice - do sela Praskovače IIb
95. Južna Morava: od seka Praskovače - do Stalaća IIa

III Sliv reke Velike Morave

96. Velika Morava: od Stalaća - do ušća u Dunav.....	IIa
97. Crnica: od izvorišta - do Popovca	I
98. Crnica: od Popovca do ušća.....	IIa
99. Lugomir: od izvorišta - do Svetozareva	IIa
100. Lugomir: od Svetozareva - do ušća u Veliku Moravu.....	IV
101. Bjelica: od izvorišta - do ušća	IIa
102. Lepenica: od izvorišta - do Kragujevca.....	IIa
103. Lepenica: od Kragujevca - do ušća u Veliku Moravu	IV
104. Resava: od izvorišta - do sela Dvorišta.....	I
105. Resava: od sela Dvorišta - do Despotovca	IIa
106. Resava: od Despotovca - do ušća u Veliku Moravu.....	III
107. Jasenica: od izvorišta - do sela Strugara	I
108. Jasenica: od sela Strugara - do reke Veliki Lug.....	IIa
109. Veliki Lug: od izvorišta - do Mladenovca	IIa
110. Veliki Lug: od Mladenovca - do reke Masenice	IV
111. Veliki Lug: od reke Jasenice - do ušća u Veliku Moravu	IV

IV Sliv reke Save

112. Sava: od Republike Hrvatske - od ušća u reku Dunav.....	II
113. Lim: od granice SR CRne Gore - do ušća u reku Drinu.....	II
114. Jezero Potpeć;	II
115. Uvac: od izvorišta - do reke Vapa.....	I
116. Uvac: od reke Vapa - do ušća u Lim	II
117. Jezero "Kokin Brod".....	II
118. Rzav (drinski): od izvorišta - do granice Bosne	II
119. Drina: od jezera "Bajina Bašta" (sa akumulacijom) - do ušća u Savu	II
120. Jadar: od izvorišta - do ušća u reku Drinu	II
121. Bosut: od granice Republike Hrvatske - do ušća u reku Savu	III
122. Gradac: od izvorišta - do druge brane	I
123. Gradac: od druge brane - do ušća u Kolubaru.....	IIa
124. Jablanica: od izvorišta - do ušća u Kolubaru.....	I
125. Kolubara: od Valjeva - do ušća reke Ljiga	IIb
126. Ljig: od izvorišta - do sela Ugrinovaca	I
127. Ljig: od sela Ugrinovaca - do ušća u reku Kolubaru	IIa
128. Kolubara: od ušća reke Ljig - do ušća reke Peštan.....	II
129. Peštan: od izvorišta - do ušća u reku Kolubaru	IV
130. Kolubara: od ušća reke Peštan - do ušća u reku Savu.....	IIb
131. Tamnava: od izvorišta - do ušća u reku Kolubaru.....	IIa

V Sliv reke Mlave i Peka

132. Mlava: od izvorišta - do Žagubice.....	I
133. Mlava: od Žagubice - do ušća u reku Dunav	IIa
134. Pek: od izvorišta - do ušća u reku Dunav	III

VI Sliv reke Timoka

135. Trgoviški Timok: od izvorišta - do sela Kalna	I
136. Trgoviški Timok: od sela Kalna - do Knjaževca	IIa
137. Svrliški Timok: od izvorišta - do Okruglice	I
138. Svrliški Timok: od seka Okruglice - do Knjaževca	IIa
139. Beli Timok: od Knjaževca - do Zaječara	IIa
140. Crni Timok: od izvorišta - do Zaječara	IIa
141. Timok: od Zaječara - do ušća Borske reke	IIb
142. Borska reka: od izvorišta - do Bora	IIa
143. Borska reka: od Bora - do ušća u Timok	I
144. Timok: od ušća Borske reke - do ušća u Dunav	III

VII Sliv Belog Drina

145. Beli Drim: od izvorišta - do sela Radevca	I
146. Beli Drim: od sela Radevca - do Pečke Bistrice	IIa
147. Klina: od izvorišta - do gornje Kline	I
148. Klina: od Gornje Kline - do ušća u Beli Drin	IIa
149. Beli Drim: od Peške Bistrice - do ušća Prizrenske Bistrice	IIb
150. Peška Bistrica: od izvorišta - do Peći	I
151. Peška Bistrica: od Peći - do ušća u Beli Drim	III
152. Dečanska Bistrica: od izvorišta - do Dečana	I
153. Dečanska Bistrica: od Dečana - do ušća u Beli Drim	IIa
154. Miruša: od izvorišta - do ušća u Beli Drim	IIa
155. Erenik: od izvorišta - do Đakovice	IIa
156. Erenik: od Đakovice - do ušća u Beli Drim	IIb
157. Topluga: od izvorišta - do ušća u Beli Drim	IIa
158. Prizrenska Bistrica: od izvorišta - do Prizrena	I
159. Prizrenska Bistrica: od Prizrena - do ušća u Beli Drim	IV
160. Beli Drim: od Prizrenske Bistrice - do albanske granice	III

VIII Deo sliva reke Vardara

161. Nerodimka: od izvorišta - do sela Nerodimlje	I
162. Nerodimka: od seka Nerodimlje - do Uroševca	IIa
163. Nerodimka: od Uroševca - do Lepenca	IIb
164. Lepenac: od izvorišta - do sela Firaja	I
165. Lepenac: od sela Firaja - do granice Republike Makedonije	II
166. Pčinja: od izvorišta - do seka Trgovišta I	
167. Pčinja: od sela Trgovišta - do granice Republike Makedonije	II

IX Sliv reke Strume

168. Dragovštica: od izvorišta - do Bosilgrada	I
169. Dragovštica: od bosilegrada - do bugarske granice	II
X Osnovna kanalska mreža hidrosistema Dunav - Tisa - Dunav	
170. Kanal Bezdán - Bečej: od Bezdana - do Vrbasa	IIa
171. Kanal Bezdán - Bečej: od Vrbasa - do Bečeja	IIb
172. Kanal Dunav - Tisa - Dunav: od Bezdana - do Odžaka	IIa
173. Kanal Dunav - Tisa - Dunav: od Odžaka - do Bačkog Petrovca	IIa

174. Kanal Dunav - Tisa - Dunav: od Malog Stapara - do Ruskog Krstura	Ia
175. Kanal Dunav - Tisa - Dunav: od Odžaka - Ruski Krstur - Kucura- do Vrbara.....	Ib
176. Kanal Dunav - Tisa - Dunav: od Jegričke - Bački Petrovac - do Novog Sada	Ia
177. Jegička: od Despotovca - do Zmajeva	Ia
178. Jegička: od Zmajeva - do Žablja	Ib
179. Jegička: od Žablja - do ušća u reku Tisu	Ia
180. Krivaja: od izvorišta - do Bačke Topole	Ia
181. Krivaja: od Bačke Topole - do Bajše	III
182. Krivaja: od Bajše - do ušća	Ib

XI Sliv reke Tise

183. Tisa: od Mađarske granice - do ušća u Dunav	II
184. Kiriš: od Mađarske granice - do ušća u Tisu	II
185. jezero Palić.....	Ia
186. Zlatica: od rumunske granice - do ušća u Tisu	III
187. Čik: od izvorišta - do ušća u Tisu	Ib
188. Begej (kanal): od rumunske granice - do Starog Begeja	III
189. Begej: od Starog Begeja - do Zrenjanina	Ia
190. Begej: od Zrenjanina - do Perleza	Ib
190. Begej: od Perleza - do ušća u Tisu	Ia

XII Sliv reke Dunava

192. Dunav: od Mađarske granice - do Bugarske granice	II
193. Tamiš: od rumunske granice - do ušća u Dunav.....	II
194. Brzava: od rumunske granice - do ušća u Tamiš	Ia
195. Kanal Dunav - Tisa - Dunav: od Botoša - do Vršca	Ia
196. Moravica (vršačka): od rumunske granice - do ušća	II
197. Kanal Dunav - Tisa - Dunav: od Vršca - do ušća reke Karaš	Ib
198. Kanal Dunav - Tisa - Dunav: od ušća reke Karaš - do Dunava.....	Ia
199. Karaš: od rumunske granice - do ušća u kanal Dunav - Tisa - Dunav	II
200. Nera: od rumunske granice - do ušća u Dunav.....	II
201. Jezava: od izvorišta - do sela Radinci	Ia
202. Jezava: od sela Radinaca - do ušća u Dunav.....	IV
203. Porečka reka: od izvorišta - do ušća reke Šoške	I
204. Porečka reka: od ušća reke Šoške - do ušća u Dunav	Ia

PREDLOG PRAVILNIKA O TEHNIČKIM I SANITARNIM USLOVIMA ZA UPUŠTANJE OTPADNIH VODA U GRADSKU KANALIZACIONU MREŽU

I OPŠTE ODREDBE:

Član 1.

Ovim pravilnikom propisuju se mere zaštite gradskog kanalizacionog sistema i sva druga pitanja koja su od bitnog značaja za zaštitu gradskog kanalizacionog sistema.

Član 2.

Zaštita gradskog kanalizacionog sistema od nepoželjnog dejstva materija koje sa sobom nose otpadne vode korisnika gradske kanalizacije, vrši se kroz sledeća četiri načina zaštite:

- zaštita od mehaničkih uticaja,
- zaštita od zapaljivih i eksplozivnih materija,
- zaštita od hemijskih materija,
- zaštita od infektivnih voda.

II MERE ZAŠTITE:

Zaštita od mehaničkih uticaja

Član 3.

U kanale za odvođenje atmosferskih voda, atmosfersku kanalizaciju u okviru gradskog separacionog kanalizacionog sistema zabranjeno je upuštanje:

- domaće upotrebljene sanitarne vode iz stambenih, društvenih, komunalnih i industrijskih objekata,
- neprečišćene atmosferske vode sa površina jako zagađenih produktima industrije,
- industrijske otpadne vode sa i bez prethodne obrade na internim uređajima za prečišćavanje osim rashladnih voda.

Član 4.

U kanale za odvodnjavanje upotrebljenih (otpadnih) voda, fekalne kanale u okviru gradskog separacionog kanalizacionog sistema zabranjeno je upuštanje:

- upotrebljene vode od pranja i polivanja ulica i drugih javnih površina,
- atmosferske vode,
- rashladne vode.

Član 5.

Ni jedno pravno ili fizičko lice ne sme u gradski kanalizacioni sistem upustiti, niti prouzrokovati upuštanje otpadnih materija koje ugrožavaju predviđeni hidraulični režim toka otpadnih voda, stabilnost objekata kanalizacione mreže, normalne biohemijske procese u kanalskoj otpadnoj vodi, stabilnost procesa rada mašina na kanalizacionim crpnim stanicama, predviđene uslove potrebne za vršenje tekuće kontrole i popravke, povećavaju troškove eksploatacije i onemogućavaju normalan rad gradskih postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda u bilo kojoj fazi prečišćavanja i to:

- otpadne vode koje imaju temperaturu veću od 40°C ,
- otpadne vode čija je sadržina ukupnih suspendovanih materija veća od 500 mg/l
- otpadne vode čiji je sadržaj taložljivih materija za 2 h veći od 2 mg/l,
- bilo kakve čvrste materije: pesak, zemlju, kamen, drvo, metal, staklo, plastične materije, vlaknaste materije, perje, katran, iznutrice, ili druge slične čvrste materije većeg viskoziteta,
- otpadne vode iz ugostiteljskih ili sličnih objekata u kojima se priprema više od 200 toplih obroka na dan, ukoliko nisu prethodno propuštene kroz odgovarajući separator masnoće,
- otpadne vode iz septičkih jama i gradskog smeća,
- otpadne materije koje svojim abrazivnim dejstvom oštećuje zidove kanala.

Zaštita od zapaljivih i eksplozivnih materija

Član 6.

U kanale gradskog kanalizacionog sistema zabranjeno je upuštanje zapaljivih i eksplozivnih materija kao što su: nafta i njeni laki i teški derivati, kao i sve ostale čvrste, tečne i gasovite zapaljive i eksplozivne materije.

Opasnost od pojave ispuštanja zapaljivih i eksplozivnih materija postoji kod sledećih objekata: benzinskih stanica, skladišta benzina i drugih tehničkih goriva, pogona za preradu derivata nafte (benzina, benzola, mineralnih ulja, mazuta i sl.), vozničkih parkova, građevinskih mašina, aerodroma, mašinskih radionica i servisa, i, svuda gde postoji mogućnost da se, zajedno sa otpadnim vodama, u gradsku kanalizaciju upuste i zapaljive i eksplozivne materije.

Zaštita od hemijskih materija

Član 7.

U kanale gradskog kanalizacionog sistema zabranjeno je upuštanje toksične opasne i štetne materije u koncentracijama većim od maksimalno dopuštenih koncentracija (MDK) određenih ovim Pravilnikom.

Red.br	MATERIJA	Jed. mere	MDK	Napomena
1.	pH vrednost		6.0 - 9.5	
2.	Biohemijska potrošnja kiseonika za 5 dana (BPK ₅)	mg/l	300.0	
3.	Hemijska potrošnja kiseonika (HPK)	mg/l	450.0	
4.	Hloridi (Cl)	mg/l	500.0	
5.	Sulfati (SO ²⁻)	mg/l	350.0	
6.	Sulfidi (S ²⁻)	mg/l	1.0	
7.	Rodanidi (CNS ⁻)	mg/l	50.0	
8.	Nitrati (N)	mg/l	50.0	
9.	Nitriti (N)	mg/l	30.0	
10.	Cijanidi (CN ⁻)	mg/l	0.5	pri pH>8
11.	Cijanidi (CN ⁻)	mg/l	0.0	pri pH<8
12.	Magnezijum (Mg)	mg/l	200.0	
13.	Nikl (Ni)	mg/l	3.0	
14.	Cink (Cn)	mg/l	5.0	
15.	Arsen (As)	mg/l	0.2	
16.	Selen (Se)	mg/l	1.0	
17.	Hrom (Cr ⁶⁺)	mg/l	0.1	
18.	Hrom (Cr ³⁺)	mg/l	0.5	
19.	Kadmijum (Kd)	mg/l	2.0	
20.	Bakar (Cu)	mg/l	2.0	
21.	Olovo (Pb)	mg/l	2.0	
22.	Živa (Hg)	mg/l	0.01	
23.	Barijum (Ba)	mg/l	4.0	
24.	Gvožđe (Fe)	mg/l	5.0	
25.	Kalaj (Sn)	mg/l	4.0	
26.	Fluoridi (F)	mg/l	5.0	
27.	Ulja i masti (org. ili miner. porekla)	mg/l	40.0	
28.	Toluol	mg/l	1.0	
29.	Ksilol	mg/l	0.5	
30.	Alkoholi (suma svih alkohola)	mg/l	20.0	
31.	Benzol	mg/l	1.0	
32.	Fenolna jedinjenja (kao fenol)	mg/l	0.4	
33.	Biodegradabilni deterxenti	mg/l	10.0	
34.	Pesticidi	mg/l	0.2	
35.	Soli amonijaka (NH ₄ ⁺)	mg/l	15.0	
36.	Radioaktivnost	Bq/l	0.37	
37.	Fosfati (P)	mg/l	10.0	
38.	Bionedegradabilni deterxenti	mg/l	0.0	

Član 8.

U kanale gradskog kanalizacionog sistema zabranjeno je upuštati i sve ostale opasne, toksične i štetne materije, koje nisu obuhvaćene članom 7. ovog Pravilnika.

Zaštita od infektivnih voda

Član 9.

Zdravstvene, veterinarske i druge organizacije udruženog rada u čijim se otpadnim vodama mogu očekivati patogeni mikroorganizmi, uzročnici raznih infektivnih oboljenja, moraju svoje otpadne vode da dezinfikuju pre upuštanja u gradsku kanalizaciju.

III ZAVRŠNE ODREDBE:

Član 10.

Ukoliko kvalitet otpadnih voda ne zadovoljava norme ovog Pravilnika, korisnik gradske kanalizacije obavezan je da otpadne vode pre upuštanja prečisti do propisanog kvaliteta na internom uređaju za prečišćavanje.

Član 11.

Uređaj za prečišćavanje iz prethodnog člana može se izgraditi samo i po pribavljenoj saglasnosti na projekat tog uređaja od nadležnog komunalnog preduzeća.

Kontrolu kvaliteta otpadnih voda na mestu upuštanja, a pre mešanja sa otpadnim vodama u gradskoj kanalizaciji, kao i kontrolu rada internog uređaja za prečišćavanje, vrši korisnik gradske kanalizacije o svom trošku posredstvom laboratorije (ovlašćene ustanove), shodno zakonskim propisima.

Nadležno komunalno preduzeće ima pravo da, preko svoje službe za tretman kanalskih voda, obavlja kontrolu kvaliteta otpadnih voda, koje korisnici gradskog kanalizacionog sistema upuštaju u isti. Kontrola se obavlja u svako doba, bez prethodne najave, na mestu upuštanja, pre mešanja ispuštene otpadne vode sa kanalskom vodom, a korisnik je dužan da omogući pristup mestu vršenja kontrole. Ukoliko kontrola pokaže da otpadna voda predstavlja neposrednu opasnost za život i zdravlje ljudi, kao i za normalno funkcionisanje objekata gradskog kanalizacionog sistema, nadležno komunalno preduzeće ima pravo da od korisnika zatraži potpuni prekid upuštanja takve otpadne vode u gradsku kanalizaciju, sve dok se njen kvalitet ne vrati u dozvoljene granice.

3.2. FRANCUSKA REGULATIVA ZA OTPADNE VODE

U daljem tekstu biće prezentirani, kao uporedni primer načina rešavanja problematike otpadnih voda, delovi zakonske regulative za otpadne vode u Francuskoj (N° 94-469 od 3. juna. 1994. godine). Zemlje članice EZ su bile u obavezi da svoje nacionalne zakone usklade sa direktivom evropskog saveta od 21 maja 1991. godine a koja se odnosi na prečišćvanje gradskih otpadnih voda (91/27/EEC, str. 545 APPENDIX)

ZAHTEVANI MINIMALNI TRETMAN PREMA FRANCUSKOM ZAKONU

	Parametar	Maksim. koncentr.	Minimal. efikasnost	Količina zagađenja	Pravila za pridržavanje	
		mg/l	%	Broj E.S.	Broj dozvoljenih odstupanja od standardnih vrednosti	Ne dozvoljene vrednosti (mg/l)
Standardne zone Biološko zagađenje	BPK₅	25	70	2 000 - 10 000	vidi tabelu n°3	BPK ₅ = 50 HPK = 250 Susp. mat. = 85
	BPK₅	25	80	> 10 000		
	HPK	125	75	za sva opterećenja		
	Suspend. materije	35	90	za sva opterećenja		
Zaštićene zone azot i fosfor	Ukupni N	15	70	10 000 - 100 000	Srednje godišnje vrednosti koje treba poštovati	
	Ukupni N	10	70	> 100 000		
	Ukupni P	2	80	10 000 - 100 000		
	Ukupni P	1	80	> 100 000		

KARAKTERISTIKE ZAHTEVANIH VRSTA TRETMANA

(Za prijem vode delimično osetljive na određene faktore zagađenja-
For receiving water particularly sensitive to certain pollution factors)

	Nivo	Parametar	Maksim. koncentr.	Minimalna efikasnost	Pravila za pridržavanje	
			mg/l	%	Broj dozvoljenih odstupanja od standardnih vrednosti	Ne dozvoljene vrednosti (mg/l)
zagađenje jedinjenjem ugljenika Carbonaceous	Jak tretman	BPK ₅	25	Računato zaokruživanjem najbliže tačke,	vidi tabelu br. 3	BPK ₅ = 50 HPK = 250 Susp. mat. = 85
		HPK	90			
		Susp. mat.	30			
	Vrlo jak tretman	BPK ₅	15	na bazi srednje izlazne koncentracije		
		HPK	50			
		Susp. mat.	20			
zagađenje Nitrogen	Tradicionalna nitrifikacija	TKN	15	Računato zaokruživanjem najbližih 5 tačaka, na bazi srednje izlazna koncentrac.	srednje godišnje vrednosti koje se respektuju Treba poštovati srednju godišnju vrednost	
	Vrlo jaka nitrifikacija	TKN	5			
	Tradicionalna nitrifikacija i denitrifikacija	Ukupni N	10			
zagađenje Fosforom	1 stepen uklanjanja fosfora	Ukupni P	2			
	2 stepen uklanjanja fosfora	Ukupni P	1			

**BROJ DOZVOLJENIH ODSUPANJA OD STANDARDOM
PROPISANIH VREDNOSTI**

BROJ UZORAKA uzetih tokom godine	MAKSIMALNI BROJ UZORAKA koji odstupaju od standarda
4 - 7	1
8 - 16	2
17 - 28	3
29 - 40	4
41 - 53	5
54 - 67	6
68 - 81	7
82 - 95	8
96 - 110	9
111 - 125	10
126 - 140	11
141 - 155	12
156 - 171	13
172 - 187	14
188 - 203	15
204 - 219	16
220 - 235	17
236 - 251	18
252 - 268	19
269 - 284	20
285 - 300	21
301 - 317	22
318 - 334	23
335 - 350	24
351 - 365	25

**UČESTALOST MERENJA NA POSTROJENJIMA ZA
PREČIŠĆVANJE OTPADNIH VODA**

BPK₅ kg/dan	120 - 600	601 - 1800	1801 - 3000	3001 - 6000	6001 - 12000	12001 - 18000	> 18000
broj E.S.	≥ 2000	> 10000	> 30000	> 50000	> 100000	> 200000	> 300000
Protok	365	365	365	365	365	365	365
Susp. mat.	12	24	52	104	156	260	365
BPK ₅	4	12	24	52	104	156	365
HPK	12	24	52	104	156	260	365
Ukupni N (po Klejdalu)	-	6	12	24	52	104	208
NH ₄	-	6	12	24	52	104	208
NO ₂	-	6	12	24	52	104	208
NO ₃	-	6	12	24	52	104	208
Ukupni P	-	6	12	24	52	104	208
Mulj	2	24	52	104	208	260	365
Ukupni N (po Klejdalu)	-	12	24	52	104	208	365
NH ₄	-	12	24	52	104	208	365
NO ₂	-	12	24	52	104	208	365
NO ₃	-	12	24	52	104	208	365
Ukupni P	-	12	24	52	104	208	365

**KARAKTERISTIKE POSTROJENJA ZA PREČIŠĆVANJE
OTPADNIH VODA I ROKOVI ZA IZGRADNJU**

Broj E.S.	< 2000	≥ 2 000	≥ 10 000	≥ 15 000
Uopštteni slučaj		31.12.2005.	31.12.2005.	31.12.2000.
Osetljive zone		31.12.2005.	31.12.1998.	31.12.1998.
"Normalne" zone sveže i vode na ušću	Appropriate Treatment at 31.12.2005.	Sekundarni tretman do 31.12.2005.	Sekundarni tretman do 31.12.2005.	Sekundarni tretman do 31.12.2000.
"Normalne" zone priobalne vode	Appropriate Treatment at 31.12.2005.	Appropriate treatment at 31.12.2005.	Sekundarni tretman do 31.12.2005.	Sekundarni tretman do 31.12.2000.
Osetljive zone (svi tipovi vode)	Appropriate Treatment at 31.12.2005.	Sekundarni tretman do 31.12.2005.	More rigorous treatment at 31.12.1998.	More rigorous treatment at 31.12.1998.

P O G L A V L J E I I

TEHNOLOGIJA I TEHNIKA U OBRADI

1. UVOD

Tretman komunalnih otpadnih voda predstavlja zbir tehnoloških postupaka kojima se različitim tehnološkim operacijama iz otpadnih voda uklanja sedimentni, rastvoreni i emulgovani sadržaj u onoj meri u kojoj to zahteva kvalitetet prijemnika - recipijenta za prečišćenu otpadnu vodu.

Komunalne otpadne vode su po svom sadržaju srodne, a osnovne razlike u kvalitetu sadržaja komunalnih otpadnih voda dolaze od razlika u udelu i kvalitetu industrijskih otpadnih voda u komunalnim otpadnim vodama.

Osnovni kriterijum koji definiše polazne osnove za postavljanje tretmana komunalnih otpadnih voda je veličina urbane sredine za koju se postavlja postrojenje, odnosno kapacitet kanalizacionog sistema urbane sredine.

Urbane sredine sličnih veličina imaju srodni kvalitet otpadnih voda, kako po pitanju fekalnih otpadnih voda naselja, tako i po pitanju osobina i kvantiteta industrijskih otpadnih voda.. Naravno, razlike u kvalitetima industrijskih otpadnih voda između urbanih sredina, moraju se prilagoditi nekom prosečnom sadržaju kvaliteta u okviru srodnih urbanih sredina.

To se postiže donošenjem propisa na nivou svake urbane sredine o uslovima za upuštanje industrijskih otpadnih voda u kanizacioni sistem, odnosno propisi o zahtevanim kvalitetima industrijskih otpadnih voda pre upuštanja u mesni kanizacioni kolektor.

Tako se najveći broj mesta prema opterećenju postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda može podvesti pod nekoliko grupa kvaliteta komunalnih otpadnih voda, naravno, uz postojanje pojedinačnih izuzetaka, pre svega čisto industrijskih naselja.

Mogući izbor tehnoloških postupaka za tretman komunalnih otpadnih voda se svodi na nekoliko osnovnih tehnoloških mehanizama:

- mehanički tretman
- hemijski i fizičko-hemijski tretman
- biološki tretman

Mehanički tretman obuhvata tehnološke postupke kojima se pomoću raznovrsnih tehnoloških operacija vrše separacije sedimentnih (specifično težih i specifično lakših nerastvornih čvrstih supstanci) i emulgovanih primesa (ulja, masti, koloidnih supstanci i drugih tečnih supstanci i pasta koje se ne rastvaraju niti mešaju sa vodom, u otpadnoj vodi. Ovim tretmanima se prirodne vode - recipijenti štite od nanosa, površinskih nečistoća, kao i emulzija na površini vode, čime se štiti kako hidromehanički režim prirodnih voda - recipijenata, tako i živi svet u njima.

Hemijski i fizičko hemijski tretman obuhvata tehnološke postupke kojima se pomoću raznovrsnih tehnoloških operacija vrši razgradnja i uklanjanje rastvorenih supstanci iz otpadne vode, kao i supstanci koje se mešaju sa otpadnom vodom. Ovim tretmanima se prirodne vode - recipijenti štite od hemijskih sadržaja kao i stvaranja hemijskog taloga, čime se štiti kako hemijska ravnoteža prirodnih voda - recipijenata, tako i živi svet u njima.

Biološki tretman obuhvata tehnološke postupke kojima se uz pomoć metabolizma mikroorganizama vrši razgradnja i uklanjanje takozvanih biodegreabilnih supstanci (supstanci koje u prirodnim vodama podležu razgradnji pod dejstvom mikroorganizama). Ovim tretmanom se prirodne vode - recipijenti štite od hemijskih sadržaja koji će se dalje razgrađivati trošeći kiseonik, ili druge oksidanse, čime se štiti pre svega živi svet, a takođe i hemijska ravnoteža prirodnih voda - recipijenata.

Osnovni biološki postupak tretmana otpadnih voda je aerobna razgradnja otpadnih voda.

Otpadni muljevi iz komunalnih otpadnih voda, bilo primarni (oni koji dolaze sa otpadnim vodama), bilo izreagovan aktivni (mulj od biomase mikroorganizama iz procesa biološke obrade) se mora, ne samo evakuisati iz prečišćene otpadne vode pre ispuštanja u recipijent, već i stabilizovati kako bi se mogao bezbedno odložiti, ili koristiti u druge svrhe.

Tehnološki postupak stabilizacija otpadnih muljeva može biti privremena stabilizacija fizičkim i hemijskim operacijama, kao i trajna stabilizacija biološkim tretmanom. Biološki tretman otpadnih muljeva može biti aeroban i anaeroban.

Kao što se vidi, problematika tretmana otpadnih voda i otpadnih muljeva se razlikuje međusobno i treba je vršiti odvojeno, tako da se tehnološki postupak tretmana komunalnih otpadnih voda najčešće postavlja u dve osnovne linije:

- linija vode
- linija mulja

U okviru svakog od navedenih tehnoloških postupaka i operacija postoji puno mogućih tehnika izvođenja, koje se međusobno značajno razlikuju.

U okviru mogućih tehnika izvođenja postoji veliki broj uređaja, mašina i aparata, tehničko-tehnološke opreme kojima se izabrane tehnike mogu sprovesti.

Dok tehnološka rešenja, od svojih početaka krajem 19. veka ne beleži neki kvalitativni skok, dotle se tehnička rešenja, a posebno mašinska oprema značajno modifikuju i usavršavaju.

U okviru ovog poglavlja će pre svega biti prezentirane tehnika i oprema koji su na raspolaganju prilikom izbora tretmana otpadnih voda.

Cilj ove publikacije nije u edukaciji čitalaca, već tehnička pomoć stručnim korisnicima, pa se neće značajnije razmatrati teorijski aspekti obrađivanih tehnika i tehnologija.

Osnovni tekst će sadržavati materiju koja olakšava izbor konkretne opreme, njihovih karakteristika, kao i parametre koji olakšavaju projektovanje odabrane opreme.

2. TEHNOLOGIJA I TEHNIKA PREČIŠĆAVANJE KOMUNALNIH OTPADNIH VODA

2.1. Osnovni principi postavke prečišćavanja otpadnih voda

2.1.1. Kvaliteti efluenta

Da bi postrojenja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda mogla da se projektuju i postavljaju neophodno je normirati osnovne parametre kvaliteta, koji se u postrojenjima moraju dostići.

Svaki recipijent je specifičan, kako po postojećem ("nultom") stanju kvaliteta vode, tako i, pre svega, po svom kapacitetu za prijem pojedinih zagađujućih materija. Stoga nije moguće generalizovati i standardizovati dozvoljene sadržaje svih mogućih zagađujućih materija u prečišćenim otpadnim vodama iz postrojenja.

Osobine zagađujućih komponenti u kanalizacionim otpadnim vodama, posebno u urbanim, gradskim i industrijskim zonama, se međusobno razlikuju, najviše usled različitosti postojećih industrijskih postrojenja povezanih na kanalizacioni sistem grada. Ove razlike se ogledaju kako po kvalitetu, tako i po kvantitetu, tako da je nemoguće standardizovati potrebne stepene prečišćavanja pojedinih ingradijenata u prečišćenoj otpadnoj vodi.

Usled toga se kod izgradnje postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda normiraju i standardizuju sadržaj i potreban obim prečišćavanja samo opštih zagađujućih materija, kao što su organske, neorganske i suspendovane materije u izlaznom fluidu iz postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda (tabela 2.1.1).

Tabela 2.1.1 - Parametri izliva iz postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda

Parametar	Jedinica	MDK	Min. % smanjenja
BPK5, bez nitrifikacije	mgO ₂ /l	25	70-90
HPK	mgO ₂ /l	125	75
Ukupne suspendovane materije			
- više od 10 000 ES ⁽¹⁾	mg/l	35	90
- od 2 000 - 10 000 ES ⁽¹⁾	mg/l	60	70

⁽¹⁾ - na planinama višim od 1 500 m, ako nema štetnih efekata po okolinu

Za izlive u recipijente koji podležu eutrofikaciji, postavljaju se i dozvoljeni sadržaji, kao i minimalni obimi prečišćavanja i za one sadržaje zagađujućih materija, koje nepovoljno deluju na recipijent i izazivaju eutrofikaciju prirodnih recipijenata.

Tako se normiraju i standardizuju i sadržaji azota i fosfora u izlaznom efluentu iz postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda (tabela 2.1.2).

Za dostizanje normiranih parametara u postrojenjima za prečišćavanje mogu se koristiti različiti postupci. Kod postrojenja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda učinak pojedinih postupaka, u odnosu na normirane kvalitete u tabelama 2.1.1 i 2.1.2, dat je u tabeli 2.1.3.

Tabela 2.1.2 - Nutrifikacioni parametri izliva iz postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda

Parametar	Jedinica	MDK	Min. % smanjenja
Ukupan fosfor			
- od 10 000 - 100 000 ES	mgP/l	2	80
- više od 100 000 ES	mgP/l	1	80
Ukupan azot (suma N= NH_4 , NO_3^- , NO_2^-)			
- od 10 000 - 100 000 ES	mgN/l	15	70-80
- više od 100 000 ES	mg/l	10	70-80

Tabela 2.1.3 - Stepen prečišćavanja u odnosu na primenjeni postupak prečišćavanja

Postupak prečišćavanja	Ostvareni stepen smanjenja (%)					
	susp. mat.	BPK ₅	HPK	N (1)	P	kol. klice
primarno taloženje	40-70	15-40	15-35	-	≤ 20	-
taloženje sa hem. flokulacijom	60-90	35-65	30-55	-	≤ 80	-
bakt. sloj velikog opter. sa prim. tal.	85-95	60-85	50-80	≈ 30	≤ 30	-
akt. mulj velikog opter. sa prim. tal.	85-95	60-90	50-80	≈ 10	≤ 30	-
aktivni mulj sa malim opterećenjem	85-95	75-95	60-85	≤ 90	≤ 30	-
akt. mulj sa malim opter. + hlorisanje	85-95	75-95	65-90	≤ 90 ⁽²⁾	≤ 30	> 99.9
akt. mulj sa malim opter. + peščani filter + hlorisanje	≤ 99	≤ 97	≤ 92	≤ 90 ⁽²⁾	≤ 30	> 99.99
akt. mulj sa malim opter. + peščani filter + uglj. filter + hlorisanje	≤ 99.5	≤ 99.5	≤ 97	≤ 90 ⁽¹⁾	≤ 30	> 99.999

⁽¹⁾ - po Kjeldalhu

⁽²⁾ - delimično preostali azot u obliku hloramina

2.1.2. Opterećenje postrojenja

Da bi se postrojenja za prečišćavanje mogla da projektuju i izgrađuju neophodno je normirati osnovne parametre njihovog opterećenja postrojenja, kako hidrauličkog, tako isto i biološkog, koji se na postrojenjima mogu očekivati u kanalizacionom sistemu.

2.1.2.1. Hidrauličko opterećenje postrojenja

Hidrauličko opterećenje postrojenja određuje gabarite postavljenih uređaja u postrojenju od ulaza u postrojenje do izlaza iz postrojenja.

Da bi se moglo odrediti hidrauličko opterećenje postrojenja, moraju se postaviti specifični parametri hidrauličkog opterećenja.

Kao osnovni kvalitet pri određivanju specifičnih karakteristika se uvodi pojam Ekvivalentni stanovnik - ES, kao prosečni (uslovni) potrošač, koji ispušta otpadne vode u kanalizacioni sistem.

Broj ES - N_{ES} , za čisto komunalne otpadne vode za jedno naselje se može usvojiti na bazi procene realnog, ili očekivanog broja stanovnika naselja, odnosno broja stanovnika koji koristi, ili će koristiti određeni kanalizacioni sistem.

Ovom hidrauličkom opterećenju kanalizacije čisto komunalnim otpadnim vodama treba dodati i udeo industrijskih otpadnih voda, uzimajući u obzir i sanitarne restorana, mokrih čvorova i drugih sličnih objekata u industriji, koje se ispuštaju u kanalizacioni sistem.

Udeo industrijskih otpadnih voda se takođe preračunava na bazi usvajanja, odnosno procene N_{ES} , koju bi isпустили odgovarajuću količinu otpadne vode u kanalizaciju, bilo da se radi o merenom utrošku vode u okviru industrijskog objekta i određivanju količine koja se ispušta u gradsku kanalizaciju, bilo da se radi o proceni količine ispuštene otpadne vode na bazi tipa industrije, kao i realnog proizvodnog kapaciteta i broja radnika konkretnog industrijskog objekta.

Kod određivanja hidrauličkog opterećenja kanalizacije, odnosno postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, razlikujemo nekoliko kategorija.

- Prosečno hidrauličko opterećenje

Prosečno hidrauličko opterećenje se odnosi na satno opterećenje kanizacionog sistema u odnosu na ukupan broj ekvivalenata ES, kao i procenjenu, ili normiranu, specifičnu potrošnju vode po ekvivalentu za tu konkretnu sredinu.

Prosečno hidrauličko opterećenje - Q_{pr} , se najčešće izračunava po sledećoj relaciji:

$$Q_{pr} = Q_{24} = \frac{N_{ES} \cdot q}{24}$$

N_{ES} - broj ekvivalentnih stanovnika
 q (m^3/dan) - specifično hidrauličko opterećenje po ES

- Ekstremi dnevnog hidrauličkog opterećenja

Ekstremi dnevnog hidrauličkog opterećenja se odnose na maksimalno - Q_{max}^d , kao i minimalno - Q_{min}^d , hidrauličko opterećenje kanalizacije tokom dana.

Ovi ekstremi se određuju preko usvojenih ili procenjenih dnevnih koeficijenata neravnomernosti.

Ekstremi hidrauličkog opterećenja se najčešće izračunavaju po sledećim relacijama:

$$Q_{max}^d = k_{max}^d \cdot Q_{pr} \quad - \text{maksimalno dnevno hidrauličko opterećenje}$$

$$Q_{min}^d = k_{min}^d \cdot Q_{pr} \quad - \text{minimalno dnevno hidrauličko opterećenje}$$

k_{max}^d - maksimum koef. dnevne neravnomernosti potrošnje vode (≤ 1.5)
 k_{min}^d - minimum koef. dnevne neravnomernosti potrošnje vode (≥ 0.5)

Ekstremi hidrauličkog opterećenja se mogu izračunavati i preko takozvanih angažovanih vremena opterećenja, po sledećim relacijama:

- **maksimalno dnevno hidrauličko opterećenje**, kao 14-satno opterećenje

$$Q_{max}^d = Q_{14} = \frac{24}{14} \cdot Q_{24} = 1.7143 \cdot Q_{24}$$

- **minimalno dnevno hidrauličko opterećenje**, kao 40-satno opterećenje

$$Q_{min}^d = Q_{40} = \frac{24}{40} \cdot Q_{24} = 0.6 \cdot Q_{24}$$

- **srednje dnevno hidrauličko opterećenje**, kao 18-satno opterećenje

$$Q_{sr}^d = Q_{18} = \frac{24}{18} \cdot Q_{24} = 1.34 \cdot Q_{24}$$

Ekstremi hidrauličkog opterećenja se mogu izračunavati i preko koeficijenta neravnomernosti potrošnje vode, koef. dnevne neravnomernosti - K_{dn} , koef. satne neravnomernosti - K_h , kao i koef. opšte neravnomernosti - $K_{op} = K_d \cdot K_h$.

Koeficijenti neravnomernosti se mogu usvajati iz tabela (tabele 2.1.4 i 2.1.5).

Tabela 2.1. 4 - Koeficijenti dnevne i opšte neravnomernosti potrošnje vode

Potrošač	K_d	K_h	$K_{opšte}$
Banje, letovališta	1.6-1.7	2.5	4.0-4.25
Sela i manje varoši	1.5-1.6	2.0	3.0-3.2
Gradovi <25 000 ES (bez ind.)	1.4-1.5	1.7	2.4-2.55
Gradovi <25 000 ES (sa ind.)	1.3-1.4	1.6	2.1-2.25
Gradovi od 25 000 - 50 000ES	1.3-1.4	1.4	1.8-1.95
Gradovi od 50 000 - 100 000ES	1.3	1.3	1.7
Gradovi > 100 000ES	1.25	1.2	1.5

Tabela 2.1.5 - Opšti koef. neravnomernosti u zavisnosti od proticaja

Proticaj (l/s)	K_{op}	Proticaj (l/s)	K_{op}
5	2.2	350	1.5
10	2.1	500	1.4
15	2.0	800	1.35
30	1.9	1 250	1.3
50	1.8	1 900	1.25
90	1.7	> 1 900	1.2
180	1.6		

Opšti koef. neravnomernosti se može izračunavati i preko prosečnog opterećenja Q_{pr} (l/s) iz relacije N. F. Fedorova:

$$K_{op} = 2.69 \cdot Q_{pr}^{(-0.121)} \Rightarrow Q_{max}^d = K_{op} \cdot Q_{pr}$$

Kako će se postaviti izbor koef. neravnomernosti zavisi od stava projektanta prema konkretnom postrojenju, odnosno naselju.

– **Udeo industrijskih otpadnih voda**

Udeo industrijskih otpadnih voda u hidrauličkom opterećenju kanalizacije se može procenjivati i na bazi proizvodnje u konkretnom industrijskom objektu. U tabeli 2.1.6 su navedena neka specifična hidraulička opterećenja, preko 1t gotovog proizvoda, u zavisnosti od zastupljene proizvodnje u pojedinim industrijskim granama.

Tabela 2.1.6 - Količina industrijskih otpadnih voda po 1 t proizvoda

Industrija	Količina otp. vode
	m ³ /t
Prehrambena industrija (konzervisanje)	
- grašak	50-70
- kruška i breskva	15-20
- ostalo voće	4-35
- pivo	10-16
- hleb	2-4
- klanice	15-20
- mlečne prerađevine	10-20
- viski	60-80
Hemijska industrija	
- amonijak	100-130
- CO ₂	60-90
- benzin	7-30
- laktoza	600-800
- sumpor	60-80
Industrija celuloze i papira	
- celuloza	250-800
- papir	120-160
Tekstilna industrija	
- beljenje pamuka	200-300
- bojenje	30-60

2.1.2.2. Mehaničko, hemijsko i biološko opterećenje

Mehaničko, hemijsko i biološko opterećenje u kanizacionim vodama opredeljuju izbor postupaka i zastupljenost operacija u postrojenju za prečišćavanje otpadnih voda.

Stoga je jako značajno poznavati, kako veličine opterećenja, tako i efikasnosti pojedinih postupaka i operacija za njihovo uklanjanje, prilikom izbora neophodnih postupaka za postrojenje za prečišćavanje kanizacionih otpadnih voda.

Komunalne otpadne vode (fekalne vode) predstavljaju sanitarne otpadne vode iz domaćinstava, stambenih jedinica i javnih ustanova, koje se ispuštaju u kanizacioni sistem naselja.

Ove otpadne vode se relativno lako mogu normirati po mehaničkom, hemijskom i organskom opterećenju, pošto su dosta ujednačnog sastava.

U tabeli 2.1.7 su navedena neka specifična opterećenja komunalnih otpadnih voda, preko koncentracija za jako, srednje i slabo opterećene kanalizacije.

Tabela 2.1.7 - Tipičan sastav otpadnih voda iz domaćinstava

Sastojak	Koncentracija (mg/l)		
	jaka	srednja	slaba
ukupni suvi ostatak	1 200	720	350
ukupni rastvoreni ostatak	850	500	250
- mineralni	(525)	(300)	(145)
- volatilni	(325)	(200)	(105)
ukupne suspendovane materije	350	220	100
- mineralni	(75)	(55)	(20)
- volatilni	(275)	(165)	(80)
taložljive materije	20	10	5
BPK ₅	400	220	110
ukupni organski ostatak	290	č60	80
HPK	1 000	500	250
azot, kao N	85	40	20
- organski N	(35)	(15)	(8)
- NH ₄	(50)	(25)	(12)
- NO ₂ ⁻	-	-	-
- NO ₃ ⁻	-	-	-
fosfor, kao P	15	8	4
- organski P	(5)	(3)	(1)
- neorganski P	(10)	(5)	(3)
hloridi ⁽¹⁾	100	50	30
alkalnost, kao CaCO ₃	200	100	50
masti i ulja	150	100	50

⁽¹⁾ - vrednost se uvećava za sadržaj hlorida u vodi za piće

Kod kombinovane kanalizacije, fekalne i industrijske, odnosno mešanih kanalizacionih otpadnih voda mora se računati sa udelom kvaliteta industrijskih otpadnih voda u njima. Kvalitet industrijskih otpadnih voda, koje se upuštaju u mesni kanalizacioni sistem, ne sme biti niže da menja kvalitet čisto komunalnih otpadnih voda.

Sve industrijske otpadne vode, osim čisto sanitarnih industrijskih otpadnih voda, moraju se podobnim predtretmanima svoditi na nivo kvaliteta komunalnih otpadnih voda, pre upuštanja u kanalizacioni sistem.

Tako bi kao prilog pri projektovanju postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda trebalo davati i Pravilnik o kvalitetu za upuštanje otpadnih voda u kanalizaciju, kao i preporuke o tipu i nivou industrijskih predtretmana za one industrijske objekte koji su vezani sa kanalizacionim sistemom.

2.1.3. Neke fizičke karakteristike vode

U ovom delu poglavlja biće prezentirane pojedine karakteristike vode, bitne za dimenzionisanje i izradu materijalnih bilansa pri projektovanju postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, kao i osnovni zadaci prilikom postavke hidrauličkog proračuna.

Od fizičkih karakteristika vode, bitnih za problematiku postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, navešćemo sledeće:

- max. gustina na 4°C od $\rho=0.99997 \text{ g/cm}^3$
- srednja gustina morske vode $\rho=1.02812 \text{ g/cm}^3$
- * promena gustine sa salinitetom: $1 \text{ g/l soli} \rightarrow \rho_s = \rho_o + 0.0008$
- spec. toplota vode je $c_v = 4.18 \text{ kJ/kg}\cdot\text{°C}$, minimum (c_{\min}) na $t = 35\text{°C}$
- spec. toplota leda je $c_s = 2.09 \text{ kJ/kg}\cdot\text{°C}$
- latentna toplota topljenja leda $Q_s = 334.4 \text{ kJ/kg}$
- latentna toplota isparavanja vode $Q_l = 2\,253.02 \text{ kJ/kg}$
- apsolutni (dinamički) viskozitet vode na 20°C iznosi $\mu_v = 1.007 \cdot 10^{-2} \text{ Po (cm/s)}$

Tabela 2.1.8 - Uticaj saliniteta na koef. viskoziteta vode na 20°C

Salinitet (Cl ⁻ jona u g/l)	Koef. viskoziteta (Po·10 ⁻² na 20°C)
0	1.007
4	1.021
8	1.035
12	1.052
16	1.068
20	1.085

Tabela 2.1.9 - Uticaj temperature na koef. viskoziteta vode, saliniteta 20 g/l

Temperatura (°C)	Koef. viskoziteta (Po·10 ⁻² za sal. 20 g/l)
0	1.890
3	1.628
10	1.403
15	1.228
20	1.085
25	0.966
30	0.866

Od hemijskih karakteristika vode, bitnih za problematiku postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, navešćemo sledeće:

- **zapremina gasa rastvorenog u vodi:**

$$V_g = \alpha \cdot C_g \cdot P_u$$

α - koeficijent rastvorljivosti gasa u vodi

C_g - koncentracija gasa iznad vode

P_u - ukupni pritisak u gasnoj fazi

Tabela 2.1.10 - Rastvorljivost nekih gasova na $t = 10^{\circ}\text{C}$

Karakteristika	Gas			
	N_2	O_2	CO_2	H_2S
$\alpha_{10^{\circ}\text{C}}$	0.018	0.038	0.194	3.39
$L_g \text{ (mg/l)}_{10^{\circ}\text{C}}$	23.2	54.3	2 318	5 112

Za izradu hidrauličkog proračuna su potrebni sledeći polazni podaci:

- prosečni protok u danima maksimalne potrošnje, maksimalni časovni protok
- veličina i oblik poprečnog preseka, kota dna, punjenje kolektora kojim se otpadna voda dovodi na postrojenje
- topografska situacija terena
- profil recipijenta na mestu upuštanja efluenta
- podaci o nivoima podzemnih voda

Osnovni zadaci hidrauličkog proračuna su:

- definisanje visinskog rasporeda objekata u postrojenju (težnja za gravitaciono kretanje vode kroz postrojenje)
- određivanje visina dizanja i kapaciteta pumpi (za podizanje otpadne vode na ulaz u postrojenje, za prepumpavanje otpadne vode kroz postrojenje, za povratni mulj i višak mulja kod postupaka sa aktivnim muljem, odnosno za recirkulaciju vode kod biofiltera, za evakuaciju peska iz peskolova i slično)
- sprečavanje plavljenja postrojenja

Osnovni zadatak hidrauličkog proračuna je da se ostvari potrebna veza između objekata u okviru postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda.

Transport otpadne vode i mulja u okviru postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda se može vršiti cevovodima i kanalima.

Za određivanje hidrauličkih gubitaka za tečenje fluida pod pritiskom se može koristiti Darcy-Weisbach-ova relacija:

$$\Delta h = \left(\lambda \frac{L}{D} + \sum \xi \right) \cdot \frac{v^2}{2g}$$

Karakteristike kod otpadne vode (koeficijenti trenja i lokalnih gubitaka) su iste kao i karakteristike kod čiste vode, pri čemu se uzima najveća vrednost apsolutne hrapavosti materijala u proračunima.

Za transport mulja se ne mogu koristiti koeficijenti trenja za čistu vodu, već se koeficijent trenja za transport mulja dobija tako što se koeficijent trenja za čistu vodu množi sa koeficijentom k_1 .

Tabela 2.1.11 - Koeficijent proporcionalnosti čiste vode i mulja za koef. trenja

Težinski odnos SM (%)	0	2	4	6	8.5	10
k_1	1.00	1.48	2.50	4.90	8.25	13.03

2.2. Fizički postupci u prečišćavanju otpadnih voda

2.2.1. Gruba separacija

Gruba separacija je postupak uklanjanja komadnih čvrstih primesa iz otpadne vode, bez obzira na specifičnu težinu primesa u odnosu na vodu.

Za grubu separaciju u otpadnim vodama se od uređaja u praksi uobičajeno koriste rešetke i sita.

2.2.1.1. Rešetke

Rešetke su uređaji za uklanjanje komadnog materijala, krupnih plivajućih i lebdećih predmeta, sa ciljem zaštite cevi i cevnih elemenata od začepljivanja, habanja i havarija, koji se postavljaju u otvoreni kanal normalno na tok, ili pod uglom od 30°-90°. Uobičajena širina otvora između šipki iznosi 3-100 mm.

Rešetke se mogu podeliti prema razmaku između rešetki na rešetke za:

— fino ceđenje	3-10 mm
— srednje fino ceđenje	10-25 mm
— prethodno (grubo) ceđenje	30-100 mm

Zadržani materijal se sa rešetki uklanja ručno ili mehanički. Kod mehaničkih rešetki je kao zaštita obavezna prethodna rešetka, razmaka između šipki od 50-100 mm.

Hidraulički gubitak kroz čistu rešetku (maksimalni gubitak) iznosi:

$$\Delta h_R = \beta \cdot \left(\frac{s}{e}\right)^{\frac{4}{3}} \cdot h_v \cdot K \cdot \sin \theta = \beta \cdot \left(\frac{s}{e}\right)^{\frac{4}{3}} \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} \cdot K \cdot \sin \theta$$

β - koef. oblika šipke

s - maksimalna debljina štapa rešetke normalno na tok (m)

e - najmanja širina otvora između šipki upravno na tok (m)

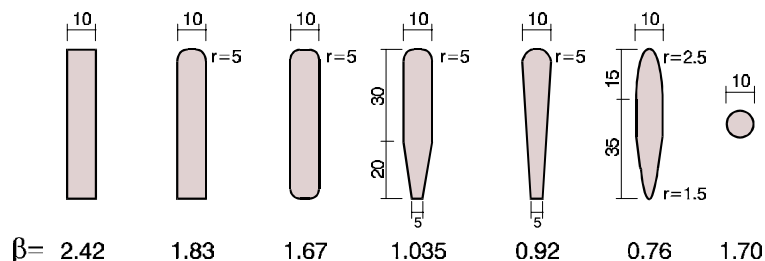
h_v - dinamička pritisak (visina toka) ispred rešetke (m)

θ - ugao rešetke sa horizontalom (°)

v (m/s) - brzina vode ispred rešetke

K - koef. uvećavanja otpora rešetke usled zapušnja

Slika 1 - Koef. oblika šipke rešetke



2.2.1.2. Sita

Pod sitima se podrazumevaju perforirani lim ili žičana mreža, promera otvora $d \leq 6$ mm. Sita se mogu podeliti prema veličini otvora na:

- gruba sita, $d = 0.80 - 6.0$ mm
- srednje fina sita, $d = 0.25 - 1.5$ mm
- fina sita, $d = 0.015 - 0.06$ mm

Hidraulički gubitak kroz čisto sito (maksimalni gubitak) iznosi:

$$\Delta h_s = \frac{1}{2 \cdot g} \cdot \left(\frac{Q}{C_Q \cdot A} \right)^2$$

C_Q - koef. protoka (uobičajena vrednost za čisto sito iznosi 0.60)

Q - protok kroz sito (m^3/s)

A - ukupna površina otvora kroz koje prolazi voda (m^2)

g - gravitaciono ubrzanje (m/s^2)

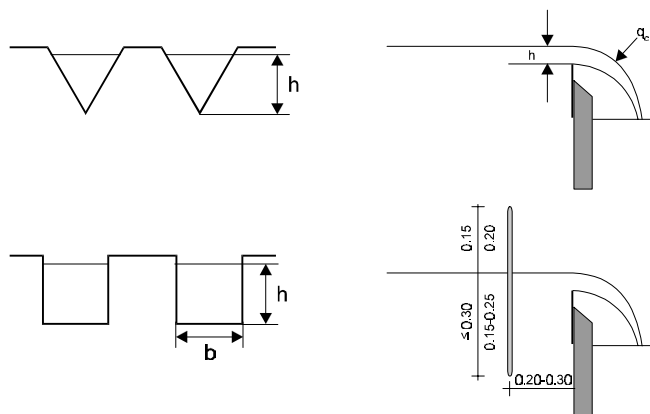
2.2.1.3. Prelivi

Prelivi su elementi za upuštanje/ispuštanje tečnosti u/iz postavljene uređaje u hidrauličkoj liniji u okviru toka tečnosti.

Uobičajeni protok po jedinici dužine preliva iznosi 2-3 l/s-m, što daje visinu prelivnog mlaza od 10-14 mm, ako se preliv izvede u obliku ravne oštre ivice, pri čemu denivelacija od 1 mm izaziva razliku max i min protoka od 10-15%.

Iz navedenih razloga se u taložnici primenjuju testerasti prelivni (slika 2).

Slika 2 - Prelivnici u postrojenjima za prečišćavanje otpadnih voda



Protok kroz jedan otvor preliva (q_0) se preračunava iz relacija:

testerasti preliv: $q_0 = 1.4 \cdot h^{\frac{3}{2}}$

pravougaoni preliv: $q_0 = 1.8 \cdot b \cdot h^{\frac{3}{2}}$

Kod taložnica sa plivajućim muljem stavlja se pregrada za plivajući mulj.

2.2.1.4. Uređaji za ujednačavanje protoka

Prilikom rada postavljenog postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda dolazi, u većoj ili manjoj mjeri, skoro svakodnevno do oscilacija u hidrauličkom opterećenju.

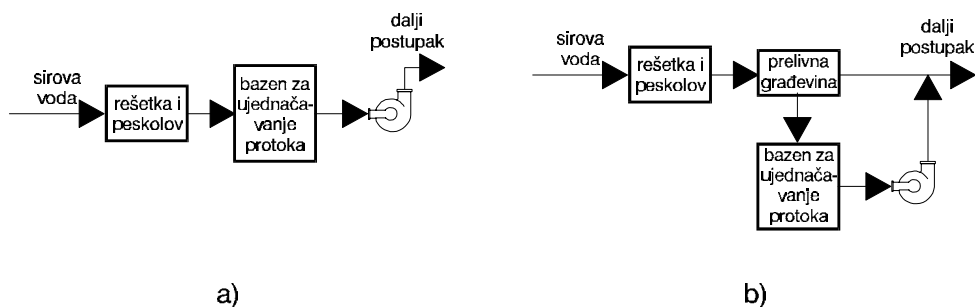
Uređaji za "ispravljanje" toka, tj. ujednačavanje hidrauličkog, a time i organskog opterećenja postrojenja, često nazivani i puferni elementi, najčešće su bazeni (egalizacioni bazeni), koji imaju prateću opremu i to:

- oprema za mešanje otpadne vode u bazenu i unošenje vazduha
- oprema za evakuaciju otpadne vode iz bazena

Prema načinu postavljanja bazena u odnosu na liniju sistema za prečišćavanje, dele se na:

- uređaje u glavnom toku (in-line) (poz. a) - bolje ujednačavanje toka
- uređaje u sporednom toku (off-line) (poz. b) - manji bazen i manipulativni troškovi

Slika 3 - Postavljanje bazena za ujednačavanje toka u postrojenjima



2.2.1.5. Uređaji za mešanje

Mešanje predstavlja postupak koji se koristi u cilju homogenizacije suspenzija.

Intenzitet mešanja se definiše preko gradijenta brzine G (Camp, Stein):

$$G = \frac{dv}{dz} = \left(\frac{P}{\mu \cdot V} \right)^{\frac{1}{2}}$$

v - brzina (m/s)

P - energija u jedinici vremena (snaga) (W)

μ - koef. dinamičke viskoznosti (kg/m·s)

V - zapremina (m³)

– Brzo mešanje

Brzo mešanje se vrši najčešće kod doziranja hemikalija u otpadnu vodu. Potrebna snaga P rotirajuće mešalice u turbulentnom režimu strujanja je (Rushton):

$$P = k \cdot \rho \cdot n^3 \cdot D^5$$

k - koef. oblika lopatice mešalice (od 1.0-6.3)

ρ - gustina fluida (kg/m³)

n - broj obrtaja mešalice (1/min)

D - prečnik mešalice (m)

Turbulentni režim se ostvaruje ako je Rejnoldsov broj $Re > 10\ 000$

$$Re = \frac{D^2 \cdot n \cdot \rho}{\mu}$$

– **Sporo mešanje**

Sporo mešanje se najčešće koristi za održavanje homogenosti suspenzije, pomoću potopljenih rotirajućih mešalica sa horizontalnom, ili vertikalnom osovinom. Periferna brzina mešalice ne treba da bude veća od 0.6-0.9 m/s

Tabela 2.2.1- Vreme zadržavanja i gradijenti brzine za navedene tipove mešanja

	Vreme zadržavanja t (s)	G (1/s)	Gxt
Brzo mešanje	10-60	300-1 000	-
Sporo mešanje	600-2 700	20-75	$2 \times 10^4 = 2 \times 10^5$

2.2.1.6. Taloženje

Taloženje je predoperacija mehaničkom uklanjanju suspendovanih čestica iz otpadne vode. Taloženje se tokom prečišćavanja otpadne vode vrši nekoliko puta, najčešće na sledeće tri pozicije:

- taloženje peska i inertnog materijala
- primarno taloženje suspendovanih čestica u sirovoj vodi
- sekundarno taloženje aktivnog mulja u tretiranoj vodi

– **Diskretno taloženje inertnih (zrnastih) čestica**

Taloženje inertnih (zrnastih) čestica u otpadnoj vodi, koje bazira na razlici specifičnih karakteristika čestice i vode, vrši se čisto pod dejstvom gravitacione sile. Efekat gravitacije deluje na sve čestice čija je gustina veća od gustine tečnosti ($1\ 000\ \text{kg/m}^3$)

Teže čestice tonu u mirnoj vodi ubrzano, sve dok se otpor taloženju ne izjednači sa efektivnom težinom čestice, kada se brzina tonjenja ujednačuje i nadalje je konstantna.

Kod inertnih čestica vrlo brzo dođe do ujednačavanja brzine taloženja. Veličine konstantne brzine taloženja zavisi od: veličine, oblika, gustine čestice i viskoznosti tečnosti.

Za sfernu česticu brzina tonjenja se izvodi iz odnosa sila:

$$F = G - U$$

F - sila otpora (N)

G - težina sferne čestice (N)

U - sila uzgona čestice (N)

Njutnov opšti izraz za brzinu taloženja v_s (m/s) iznosi:

$$v_s = \left(\frac{4 \cdot g \cdot (\rho_s - \rho) \cdot d}{3 \cdot \rho \cdot C_D} \right)^{\frac{1}{2}}$$

g - gravitaciono ubrzanje (m/s^2)

ρ_s - gustina čestice (kg/m^3)

C_D - koef. otpora tečnosti

d - prečnik sferne čestice (m)

ρ - gustina vode ($1\ 000\ \text{kg/m}^3$)

Inertne čestice, koje nezavisno sedimentuju u laminarnom toku vode, talože se konstantnom brzinom. Konačna brzina taloženja inertnih čestica:

$$v_s^{2-n} (\text{cm / s}) = \frac{4 \cdot d^{1+n} \cdot g \cdot (\rho_s - \rho_v)}{3 \cdot C \cdot \rho_v}$$

d (cm)- prečnik čestice

g=981 cm/s²

ρ_s, ρ_v - specifične težine čestice i vode

C=a·Re⁻ⁿ - koef. otpora tečnosti

a, n - koeficijenti proporcionalnosti

Rejnoldsov kriterijum strujanja za vodu iznosi:

$$\text{Re} = \frac{v \cdot \rho_v \cdot d}{\mu}$$

Tabela 2.2.2 - Vrednosti koeficijenta za brzinu taloženja u zavisnosti od Re

Re	a	n	C	Formula
$10^{-4} < \text{Re} < 1$	24	1	24 / Re	Stoksova
$1 < \text{Re} < 10^3$	18.5	0.6	$18.5 \cdot \text{Re}^{0.1}$	Alenova
$10^3 < \text{Re} < 4 \cdot 10^5$	0.44	0	0.44	Njutnova

Koeficijent oblika- ψ , korekcionni faktor se izračunava prema Stoksovoj relaciji:

$$C' = C \cdot \psi = \frac{24 \cdot \psi}{\text{Re}}$$

Tabela 2.2.3 - Vrednosti koeficijenta oblika - ψ kod taloženja inertnih čestica

Materijal	ψ	Materijal	ψ
pesak	2.00	grafitne lamele	22
ugalj	2.25	liskun	170
talk	3.25	gips	4

Koeficijent otpora tečnosti zavisi od vrednosti Rejnoldsovog broja i određuje se:

$$C_D = \frac{24}{\text{Re}} \quad \text{- za laminarni režim strujanja (Re < 1)}$$

$$C_D = \frac{24}{\text{Re}} + \frac{3}{\sqrt{\text{Re}}} + 0.34 \quad \text{- za prelazni režim strujanja (10 000 > Re > 1)}$$

$$C_D = 0.40 \quad \text{- za turbulentni režim strujanja (Re > 10 000)}$$

Brzina taloženja za laminarni režim strujanja za Re<1 iznosi:

$$v_s = \frac{g \cdot (\rho_s - \rho) \cdot d^2}{18 \cdot \mu}$$

Idealno taloženje u pravougaonom taložniku

Vreme zadržavanja vodene suspenzije u taložniku iznosi:

$$t = \frac{V_B}{Q}$$

V_B - zapremina taložnice (m^3)

Q - protok vode (m^3/s)

Voda se u pravougaonom taložniku kreće u vidu diferencijalne zapremine, od ulaza ka izlazu taložnice konstantnom brzinom horizontalnog toka - v_h :

$$v_h = \frac{l_B}{t} = \frac{l_B}{\frac{V_B}{Q}} = \frac{l_B \cdot Q}{h_o \cdot l_B \cdot b} = \frac{Q}{h_o \cdot b} \Rightarrow Q = v_h \cdot h_o \cdot b$$

l_B - dužina taložnice (m)

h_o - dubina vode u taložnici (m)

b - širina taložnice (m)

Kritična brzina taloženja inertne čestice u četvorougao bazenu - v_o (minimalna brzina tonjenja čestice da bi bila 100% zadržana u taložnici) zavisi od površine preseka taložnika (površine vodenog ogledala-dna taložnice) i brojno je jednaka površinskom hidrauličkom opterećenju u bazenu - C_h :

$$v_s \text{ (cm / s)} = \frac{h_o}{t} = \frac{h_o}{\frac{V_B}{Q}} = \frac{h_o \cdot Q}{l_B \cdot b \cdot h_o} = \frac{Q}{l_B \cdot b} = \frac{Q}{S_B} = C_h \Rightarrow Q = v_s \cdot l_B \cdot b$$

Odnos brzine taloženja čestice u bazenu - v_s i horizontalne brzine toka u pravougaonom taložniku - v_h je:

$$\frac{v_s}{v_h} = \frac{h_o \cdot b}{l_B \cdot b} = \frac{h_o}{l_B} \Rightarrow v_s = v_h \cdot \frac{h_o}{l_B}$$

Kao što sledi iz relacije, sa porastom horizontalne brzine strujanja ($v_{h1} > v_h$) vodene suspenzije u pravougaonom taložniku treba da raste i dužina bazena, kako bi se održala postavljena brzina taloženja, što sledi i sa slike 4.

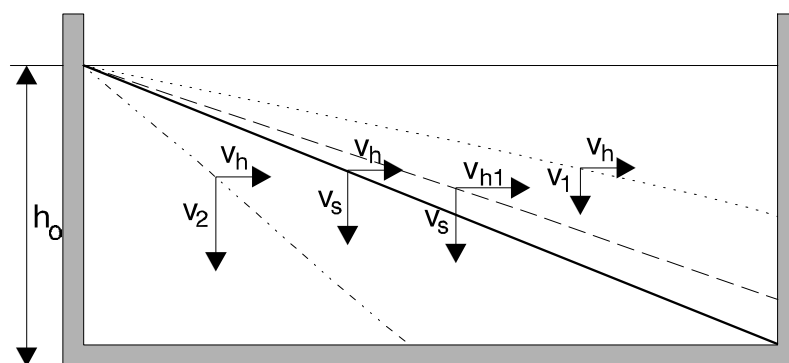
Sve čestice čija ju brzina taloženja veća od kritične brzine taloženja ($v_2 > v_s$) istaložice se u potpunosti na određenom rastojanju - l_2 od početka bazena. Rastojanje l_2 se određuje iz relacije za kritičnu brzinu taloženja - v_s :

$$v_s \text{ (cm / s)} = \frac{Q}{l_B \cdot b} \Rightarrow v_s \cdot l_B = v_2 \cdot l_2 \Rightarrow l_2 = l_B \cdot \frac{v_s}{v_2}$$

Čestice čija je brzina taloženja $v_1 \leq v_s$ biće delimično istaložene, sa efikasnošću taloženja - E_s (%):

$$E_s \text{ (%) } = \frac{v_1}{v_s} 100$$

Slika 4 - Taloženje inertnih čestica u pravougaonom taložniku



Ukupna masa čestica koje će se istaložiti u pravougaonom taložniku, u procentu taloženja je:

$$P = (1 - p_s) + \frac{1}{v_s} \cdot \int_{i=0}^{p_i} v_i \cdot dp_i$$

p_s - težinski procenat čestice koje ima brzinu taloženja $\geq v_s$

v_i - komponenta koja ima brzinu taloženja manju od v_s

p_i - težinski procenat čestice koja ima brzinu taloženja $< v_s$

Idealno taloženje u kružnom taložniku

Kružni taložnici se karakterišu kružnim oblikom bazena i kretanjem vode odozdo na gore (vertikalno kretanje vode podizanjem nivoa u taložniku).

U kružnim taložnicima, sa tokom vode odozdo na gore, uklanjaju se samo čestice čija je brzina taloženja $v_i \geq v_s$, pa je procenat uklonjenih čestica:

$$P = (1 - p_s)$$

U kružnim taložnicima čestice čija je brzina taloženja $v_i \leq v_s$, se uopšte ne uklanjaju, već izlaze sa vodom iz taložnika preko preliva na vrhu kružnog taložnika. Visina dizanja vode (visina kružnog taložnika) je mnogo manje značajan faktor za kvalitet taloženja nego kod pravougaonih taložnika.

Prečnik kružnog taložnika je mnogo značajniji faktor za kvalitet taloženja od visine dizanja vode. Sa povećanjem prečnika kod kružnih taložnica krive taloženja u pravcu prečnika zakrivljuju na dole, zbog povećavanja površine taloženja i smanjivanja horizontalne brzine toka:

$$v_s = \frac{Q}{S_B} \quad \text{sledi: } S_B \uparrow \Rightarrow v_s \downarrow \quad (\uparrow - \text{raste } \downarrow - \text{opada})$$

Sa smanjivanjem kritične brzine taloženja po prečniku kružne taložnice dolazi do taloženja sve sitnijih čestica.

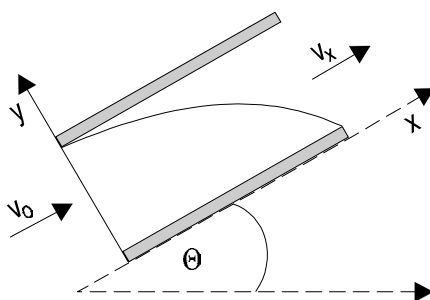
Na ovom principu rade takozvane radijalne taložnice (radijalni dekanteri), koje se najviše koriste u taloženju mulja iz otpadnih voda. Dijametar radijalne taložnice je primarni faktor kvaliteta taloženja, pa se kvalitet taloženja (dijametar najmanje zadržane čestice) postiže povećavanjem prečnika radijalne taložnice. Radijalne taložnice su relativno male dubine, reda veličine par metara (≈ 2 m), ali zato velikih prečnika, reda veličine nekoliko desetina metara.

Lamelarna (pločasta) taložnica

Površinsko opterećenje taložnice pri slobodnom padu ne zavisi od njene visine. Kada se voda propušta odozdo na gore kroz paralelne ploče ili cevi povećava se površina taloženja, a smanjuje površinsko opterećenje. Ploče se naginju pod uglom u odnosu na horizontalu, a mulj se delimično taloži na površini ploča, pa se povremeno mora spirati povratnim tokom.

Stepen uklanjanja čestica u taložnici je proporcionalan samo površinskom opterećenju, a ne i dubini vode.

Slika 5 - Lamelarna taložnica (detalj)



Površina taloženja lamelarne taložnice iznosi:

$$A = \sum_{i=1}^m A_i \cdot \cos \theta$$

A_i - površina jedne ploče (m^2) θ - ugao ploča sa horizontalom ($^\circ$)
 m - ukupna broj ploča

Osnovna jednačina lamelarne taložnice je:

$$\frac{v_x}{v_o} = A \cdot (Y - Y^2)$$

$$Y = \frac{y}{d}$$

A - koeficijent u zavisnosti od oblika lamele

Y - koordinata putanje čestice u pravcu Y

d_p - rastojanje između ploča (debljina sloja vode)

Površinsko opterećenje lamelarne taložnice iznosi:

$$C_h = C \cdot K \cdot \frac{v_h}{L}$$

$$K = S_c \cdot \frac{L}{\sin \Theta + L \cdot \cos \Theta}$$

$$S_c = \frac{v_s}{v_o} \cdot (\sin \Theta + L \cdot \cos \Theta)$$

$$L = \frac{l_p}{d_p}$$

$C=8.64 \cdot 10^{-2}$ - koeficijent proporcionalnosti
 v_o (cm/s) - srednja brzina toka u pravcu x-ose
 l_p - dužina ploča

Realna taložnica

U realnim taložnicama dolazi do odstupanja od idealnog taloženja usled nekoliko faktora realnog strujanja:

- struje u realnim taložnicama umanjuju efikasnost taloženja
- tok u realnim taložnicama je najčešće turbulentan
- taloženje nije diskretno, već postoje međusobni uticaji čestica tokom taloženja

Struje

Tipovi struja koje se mogu javiti u realnim taložnicama su:

- površinske struje od vetra (nepokrivene taložnice)
- struje usled razlika u temperaturi u bazenu, ili oko bazena
- struje usled razlika u gustini dolazeće otpadne vode od vode u bazenu
- vrtložne struje prouzrokovane inercijom dolazeće vode

Količina istaloženih čestica y , zanemarujući međusobno dejstvo čestica, je (po Heznu i Feru):

$$\frac{y}{y_o} = 1 - \left(1 + \frac{v}{m \cdot \left(\frac{Q}{A} \right)} \right)^{-m}$$

y_o - početna količina čestica

v - brzina taloženja (m/s)

$\frac{Q}{A}$ - površinsko opterećenje (m)

m - broj hipotetičkih bazena za mešanje

- * $m = 1$ - vrlo slabe taložnice
- * $m = 3$ - dobre taložnice
- * $m \sim \infty$ - najbolje taložnice

$m = 2$ - slabe taložnice

$m = 5-8$ - vrlo dobre taložnice

Parametar m se određuje eksperimentalno sa obeleženom supstancom iz relacije:

$$m = \frac{t_{srednje}}{t_{srednje} - t_{mod}}$$

$t_{srednje}$ - srednje vreme zadržavanja

t_{mod} - vreme zadržavanja najveće količine (najveća konc. obeležene supstance na izlazu)

Pokrivka sprečava pojavu struja od vetra, pregradni zidovi na početku i na kraju taložnice sprečavaju inercione struje, pomažu raspoređivanje toka jednoliko po taložnici i smanjuju pojavu struja usled različitih gustina.

Režim strujanja kroz idealne taložnice

Da bi strujanje u taložnici bilo laminarno potrebno je da Reynoldsov broj bude u granicama:

$$Re = \frac{v_h \cdot R}{\nu} < (580 - 2000)$$

v_h - brzina horizontalnog toka u taložnici (m/s)

R - hidraulički radijus taložnice (m)

ν - kinematski viskozitet vode (m²/s)

Da bi tok bio stabilan, a da ne dolazi do stvaranje "mrtvih" zona u taložnici, čime se smanjuje efektivna površina taložnice, povećava površinsko opterećenje i smanjuje efikasnost taloženja, potrebno je da Frudov broj ne bude suviše mali, već treba, po Camp-u, da bude:

$$Fr = \frac{v^2}{g \cdot h} > 10^{-5}$$

h - srednja dubina vode u taložnici (m)

Tako su zahtevi za Laminarnim režimom (vrednost Re) i stabilnim tokom u taložnici (veličina Frudovog broja) kontradiktorni. U praksi se poštuje zahtev stabilnosti toka, a u odnosu na zahtev za laminarnošću, pomoću različitih konstrukcija se drži Re što je moguće niži.

Spiranje sa dna

Spiranje dna je pojava da se usled dejstva struja u taložnici čestice istaloženog mulja podižu u masu vode. Brzina čišćenja je brzina pri kojoj dolazi do ove pojave. Vrednosti brzine čišćenja zavise od prirode istaloženog materijala. Najčešće visina do koje se podižu čestice nije velika, već se mulj transportuje po dnu ka izlazu iz taložnice.

Za konstantno površinsko opterećenje srednja brzina toka je proporcionalna dubini taložnice. Preporuka je da dubina taložnice ne bude manja od 2.5 m.

Kod idealnih taložnica sa horizontalnim tokom efikasnost taloženja zavisi isključivo od površinskog opterećenja:

$$v_o = \frac{Q}{A} = \frac{Q}{B \cdot L}$$

Sa smanjenjem dubine taložnice raste brzina horizontalnog toka:

$$v_h = \frac{Q}{h_o \cdot B}$$

Tangencijalni napon τ na dnu taložnice iznosi:

$$\tau = \rho \cdot g \cdot R \cdot J$$

ρ - gustina vode

g - gravitaciono ubrzanje

R - hidraulički radijus taložnice

J - pad linije energije

$$J = \lambda \frac{1}{4 \cdot R} \cdot \frac{v_h^2}{2 \cdot g}$$

$$\tau = \frac{\lambda}{8} \cdot \rho \cdot v_h^2$$

λ - koef. otpora trenja ($\cong 0.03$)

v_h - horizontalna brzina toka u taložnici (m/s)

Kritična vrednost tangencijalnog napona τ_c za pokretanje čestice taloga sa dna iznosi:

$$\tau_c = \beta \cdot (\rho_s - \rho) \cdot g \cdot d$$

β - koef. kvaliteta staloženog materijala (od 0.04 za pesak - 0.06 za lepljiv materijal)

ρ_s - gustina istaloženog materijala

d - prečnik čestice istaloženog materijala

Kritična brzina horizontalnog toka u taložnici v_c za podizanje mulja iznosi:

$$v_c = \sqrt{\frac{8 \cdot \beta}{\lambda} \cdot \frac{\rho_s - \rho}{\rho} \cdot g \cdot d}$$

Da bi se sprečilo spiranje istaloženog mulja mora da bude ispunjen uslov:

$$v_h < v_c$$

Za pravougaonu taložnicu važi relacija:

$$\frac{h_o}{L} < \frac{v_s}{v_o}$$

– Taloženje čestica sa međusobnim dejstvom

Ubrzavanje taloženja se javlja usled flokulacije (slepljivanja) čestica u taložniku. Brže čestice sustižu sporije čestice, "lepe" se za njih i stvaraju krupnije čestice, koje se brže gravitaciono talože. Ovakvo taloženje se naziva difuzno taloženje.

Nemaju sve čestice sposobnost međusobnog "lepljenja", kao na primer pesak.

Neke čestice ne mogu da se međusobno "lepe" zbog visokog elektrostatičkog napona (napon odbijanja), pa se prethodno moraju "razelektrirati" hemijskim sredstvima, koagulantima. Takođe, neke materije ubrzavaju stvaranje pahuljica (flokulanti)

Pojedine čestice mulja koji flokuliše, kao flokulisani hemijski mulj koncentracije ≤ 500 mg/l, talože nezavisno, bez ometanja tokom taloženja.

Ovakvo taloženje se naziva difuzno taloženje, odnosno ubrzano taloženje bez međusobnog ometanja čestica tokom taloženje.

Pojedine čestice mulja koji flokuliše, kao aktivni mulj i flokulisani hemijski mulj koncentracije ≥ 500 mg/l, talože zavisno, ometajući se tokom taloženja.

Ovakvo taloženje se naziva zonsko taloženje, odnosno usporeno taloženje sa međusobnim ometanjem čestica tokom taloženje.

Tabela 2.2.4 - Orijentacione brzine taloženja u mirnoj vodi na 10°C

Diskretne čestice			Flokulisane čestice		
d (mm)	ρ_s (10^3 kg/m ³)	v (m/s)	d (mm)	ρ_s (10^3 kg/m ³)	v (m/s)
50	2.65	1.642	1.38	1.0031	2.52×10^{-3}
10	2.65	0.734	1.13	1.0037	2.12×10^{-3}
5	2.65	0.519	1.01	1.0039	1.83×10^{-3}
1	2.65	0.175	0.94	1.0040	1.65×10^{-3}
0.5	2.65	0.091	0.87	1.0042	1.50×10^{-3}
0.1	2.65	0.009	0.80	1.0045	1.38×10^{-3}
0.05	2.65	0.002	0.71	1.0048	1.32×10^{-3}
0.01	2.65	8.9×10^{-5}	0.62	1.0053	1.11×10^{-3}
0.005	2.65	2.2×10^{-5}	0.50	1.0060	8.17×10^{-4}
0.001	2.65	8.99×10^{-7}	0.44	1.0065	6.86×10^{-4}

Difuzno (nezavisno) ubrzano taloženje flokulisanih čestica

Čestice koje flokulišu se ukupnjavaju tokom taloženja čime se brzina taloženja permanentno povećava (slika 6), tako da efikasnost taloženja flokulisanih čestica zavisi od povrinskog opterećenja i vremena taloženja.

Laboratorijskim ogledima se dobijaju podaci za konstruisanje krive taloženja, odnosno krive procentne eliminacije taloga - p, u funkciji visine bazena - H i vremena taloženja - t:

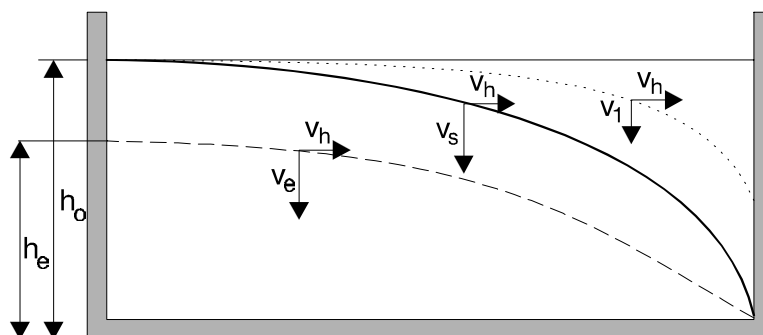
$$v_s \cong p \cdot t^n$$

p - procentna eliminacija taloga

t - vreme taloženja

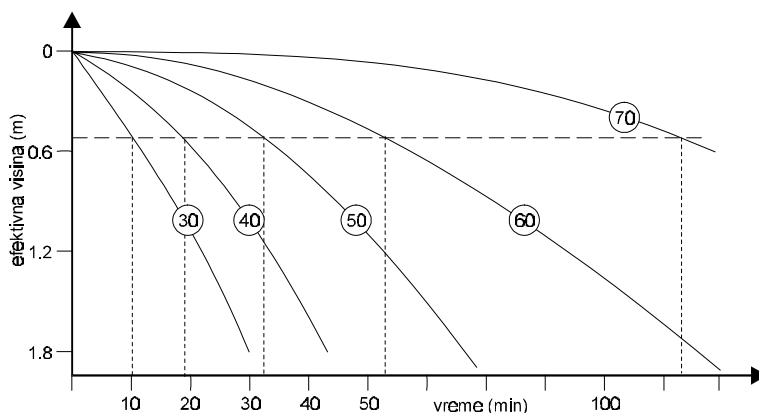
n - koeficijent brzine difuznog taloženja

Slika 6 - Difuzno taloženje čestica u pravougaonom taložniku



Sa krive $H=f(t)$, koja je u polulogaritamskoj skali, se određuje vrednost koeficijenta brzine difuznog taloženja - n (slika 7).

Slika 7 - Određivanje efektivne visine taloženja za zadati procenat taloženja u funkciji vremena taloženja pri difuznom taloženju



Kao što sledi sa dijagrama, da bi na visini od 0.5 m bilo staloženo 50% taloga potrebno je vreme taloženja od 32 minuta, za 60% taloga 54 minuta, a za 70% taloga 112 minuta.

Za željeni stepen taloženja od 70% na 0.5 m od površine vode, iz dobijenih podataka se preračunava kritična efektivna brzina taloženja preko relacije:

$$v_e \text{ (cm / min)} = \frac{h_e}{t} \cdot 100 = \frac{0.5}{112} \cdot 100 = \frac{50}{112} = 0.446$$

U navedenom taložniku, od eksperimentalno određenog taloga, čestice čija je brzina taloženja $v_s \geq 0.5$ cm/min biće eliminisane, odnosno potpuno istaložene, dok će ukupan procenat taloženja na visini od 0.5 m od površine (odnosno 1.5 m od dna) iznositi 70%.

Da bi se ovaj efekat taloženja ostvario hidrauličko opterećenje taložnika treba da je takvo da vreme zadržavanja vode u taložniku iznosi 120 min.

Zonsko (usporeno) zavisno taloženje flokulisanih čestica

Kada se usled velike gustine čestica i njihovog uzajamnog dejstva čestice talože usporeno to se naziva zonsko taloženje. Brzina taloženja flokulisane čestice u usporenom sistemu taloženja zavisi od lokalne koncentracije čestica i različita je na različitim visinama u taložniku.

Brzina taloženja se može predstaviti Kinčovom krivom.

Po teoriji Kinča (Kynch G.J.) zonsko taloženje i zgušnjavanje mulja istiskivanjem vode iz mase mulja u bilo kojoj tački suspenzije zavisi samo od lokalne koncentracije čestica mulja. Za svaki tip suspenzije postoji jedinstvena kriva zavisnosti brzine taloženja i lokalne koncentracije, koja iznosi:

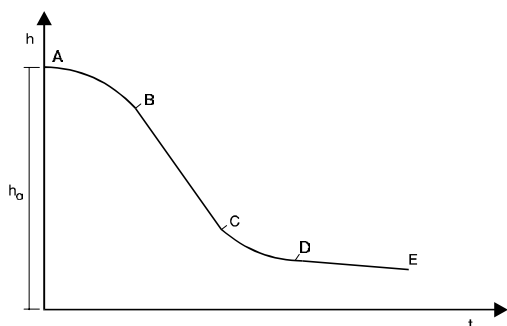
$$v_i = b \cdot C_i^{-z}$$

v_i - brzina taloženja u profilu

C_i - lokalna koncentracija suspenzije u profilu

b, z - eksperimentalno određene konstante

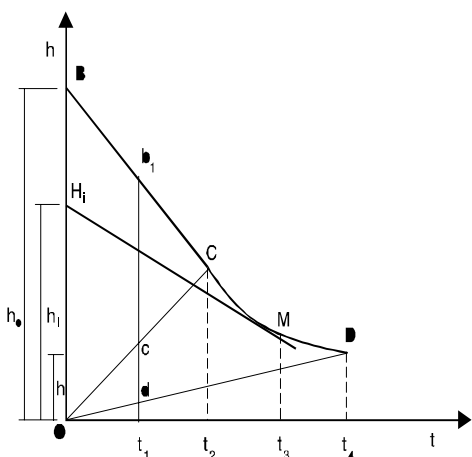
Slika 8 - Zone taloženja



- Deo I - kriva AB - progresivno povećavanje brzine taloženja (faza spajanja flokula)
- Deo II - prava BC - konstantna brzina taloženja
- Deo III - kriva CD - progresivno smanjivanje brzine taloženja
- Deo IV - prava DE - zona kompresije mulja (stišnjavanje, istiskivanje vode usled pritiska od težine mase mulja)

Po Kinčovoj teoriji se ponašaju zone BC i CD (slika 9).

Slika 9 - Deo krive kontaktne površine mulj-voda na koji se odnosi Kinčova teorija



- * trougao BOC - koncentracija mulja i brzina spuštanja kontaktne površine su konstantne (prava BC)
- * trougao COD - mulj prolazi kroz sve koncentracije sve dok ne počne kompresija mulja (istiskivanje vode) posle tačke D
- * zona b-c - zona konstantnog taloženja, koncentracija čestica mulja i brzina spuštanja kontaktne površine su uniformne i jednake početnim vrednostima, C_0 i v_0
- * zona c-d - zona ugušćavanja, koncentracija se postepeno povećava od c do d, a brzina taloženja otpada

- * zona $d-t_1$ - zona kompresije, pahuljice mulja se dodiruju i izložene su pritisku koji istiskuje vodu
- * zona t_1-t_2 - postoje tri zone mulja, zona konstantnog taloženja se brzo linearno smanjuje, zona ugušćavanja se brzo linearno uvećava, dok zona kompresije sporo raste, od t_1 ka t_2
- * zona t_2-t_4 - posle vremena t_2 postoje dve zone mulja (ugušćavanje i kompresija), prva se smanjuje, a druga uvećava nelinearno sa usporavanjem od t_2-t_4
- * zona $>t_4$ - posle vremena t_4 postoji samo jedna zona mulja (kompresija)

Koncentracija mulja h_i u tački M na delu CD se određuje povlačenjem tangente do y-ose i iznosi:

$$C_i = C_0 \cdot \frac{h_0}{h_i}$$

C_0 - početna konc. mulja
 h_0 - visina kolone

C_i - koncentracija mulja u tački M
 h_i - visina kontaktne površine

Brzina spuštanja kontaktne površine v_i je jednaka nagibu tangente. Tri dela Kinčove krive nalaze svoju primenu u obradi vode:

- deo BC - odgovara taložnicima sa vertikalnim hidrauličkim tokom, za nezavisno taloženje flokulisanih čestica, sa nepokretnim slojem mulja, kao i sa pokretnim slojem mulja (pulzatori)
- deo CD - odgovara taložnicima sa vertikalnim i horizontalnim tokom, gde je potrebno očvršćavanje mulja (taložnici i klasifikatori sa strugačima)
- deo DE - odgovara uređajima za zgušnjavanje mulja (silosima za mulj)

U zoni kompresije (prava DE) pahuljice se dodiruju i podvrgnute su pritisku usled koga se istiskuje voda iz mulja, do određenog dela vezane vode. Količina vode, koja se eliminiše iz mulja, proporcionalna je količini vode koja ostaje u mulju:

$$\frac{dD}{dt} = -k \cdot (D - D_{\infty})$$

D- težina vode u pahuljicama podeljena težinom pahuljica

D_{∞} - veličina D posle beskonačno dugog perioda

– Proračun taložnika

Površinsko opterećenje taložnika se izražava u $m^3/m^2 \cdot \text{dan}$, a određuje se iz brzine taloženja.

Maseno opterećenje taložnika (nanos) se izražava u $kgSM/m^2 \cdot \text{dan}$, a usvaja se minimalna potrebna površina za taloženje, posebno kada se radi o usporenom taloženju.

Proticaj kroz taložnik (izbistrena voda) se određuje iz relacije:

$$Q_{it} = Q - Q_m$$

Bilans mase u taložniku (mulj) se određuje iz relacije:

$$Q_m \cdot C_m = Q \cdot C_s$$

Q_{it} - protok izbistrene tečnosti (izlaz iz taložnika)

Q - protok kroz taložnik (ulaz u taložnik)

Q_m - protok mulja (izlaz iz taložnika)

C_m - konc. SM u izlaznom mulju

C_s - konc. SM u ulaznoj vodi

Odnos okvašene visine (h_o) i dužine (l_B) kod pravougaonih, odnosno poluprečnika (r_B) kod kružnih taložnika iznosi:

$$\frac{1}{20} < \frac{h_o}{l_B} < \frac{1}{35} \quad \frac{1}{6} < \frac{h_o}{r_B} < \frac{1}{8}$$

2.2.1.7. Flotacija

Flotacija spada u postupke prethodnog prečišćavanja, koji se vrše radi uklanjanja pene, ulja i masti i sl. čestica lakših od vode, postupkom uduvavanja vazduha odozdo, normalno na pravac strujanja tečnosti.

Normalno površinsko opterećenje hvatača masti i ulja iznosi $1-3 \times 10^{-6}$ m/s ($m^3/m^2 \cdot s$).

Bazeni za flotaciju su dugi i uzani, dubine 1-2 m, a vreme zadržavanja u bazenima za flotaciju iznosi 5-8 min.

– Flotacija vazduhom na atmosferskom pritisku

Potrošnja vazduha za flotaciju vazduhom na atmosferskom pritisku iznosi $0.2 \text{ m}^3/\text{m}^3$ vode na normalnom pritisku.

Vreme zadržavanja vode u bazenima za flotaciju vazduhom na atmosferskom pritisku iznosi oko 35 min.

– Flotacija rastvorenim vazduhom

Vazduh se rastvori u vodi pod uvećanim pritiskom, pa se u bazenu za flotaciju izloži normalnom pritisku, kada se oslobađa u vidu finih mehurića u čitavoj zapremini vode u bazenu.

Pritisak za rastvaranje vazduha u vodi iznosi 2-4 bara.

– Vakuumska flotacija

Voda zasićena vazduhom na normalnom pritisku se uvodi u hermetički zatvorene bazene, u kojima se uspostavlja delimični vakuum, pri čemu se deo rastvorenog vazduha izdvaja u vidu finih mehurića u čitavoj masi vode.

2.3. Fizičko-hemijski postupci u prečišćavanju

2.3.1. Adsorpcija

Pod adsorpcijom se podrazumeva postupak fiksiranja jednog molekula, ili jona, na površini drugog molekula, ili skupa molekula.

Adsorpcija, kao varijetet sorpcionih procesa (površinska pojava, nastaje usled međusobnog dejstva fizičke sile (fizička adsorpcija, adsorpcija, najčešće usled Van der Valsovih sila), ili hemijske sile (hemisorpcija, najčešće usled hemijskih reakcija radikala i grupa na površini sa jonom ili molekulom koji se adsorbuje).

Poznati adsorbenti u vodi:

- ilovača
- silicijum
- aktivna glina
- aktivni ugalj

2.3.2. Koagulacija i flokulacija

2.3.2.1. Neorganski koagulanti

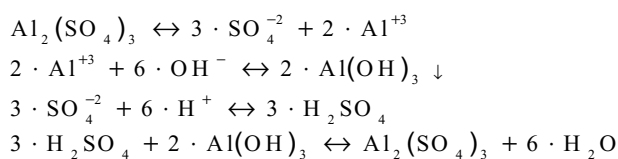
Osnovna namena koagulanata je neutralizacija koloida (češće elektronegativnih) i izazivanje taloženja koloidnih čestica.

Najviše u upotrebi od koagulanata su soli Fe (najčešće FeCl_3) i Al (najčešće $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$).

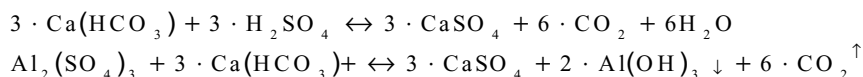
– $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (aluminijum sulfat)

$\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ je koagulant u granicama $\text{pH} = 5.8-7.4$, koji u vodi hidrolizuje i gradi amfoterni hidroksid $\text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow$, koji taloži u vidu pahuljica.

Prilikom koagulacije sa $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ potrebno je da se uklone H^+ -joni tokom hidrolize, kako se amfoterni hidroksid $\text{Al}(\text{OH})_3 \downarrow$ iz pahuljastog taloga ne bi rastvarao i gradio ponovo polaznu so.



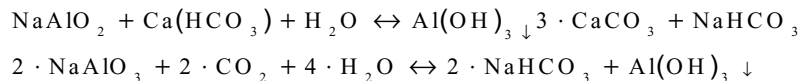
Bikarbonatna tvrdoća iz vode sprečava rastvaranje pahuljica koagulanta $\text{Al}(\text{OH})_3$.



Za neutralizaciju kiseline se može ubacivati najbolje kreč ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ili soda (Na_2CO_3). Doza koagulanta $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ iznosi od 15-100 g/m³, zavisno od mutnoće vode, a nabavlja se kao $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 18\text{H}_2\text{O}$.

– **NaAlO₂ (natrijum aluminat)**

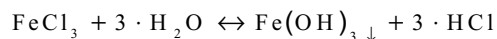
NaAlO₂ je koagulant koji reaguje sa tvrdoćom i gradi amfoterni hidroksid Al(OH)₃↓, koji taloži u vidu pahulja.



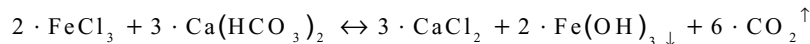
Potrebna doza NaAlO₂ za koagulaciju u vodi iznosi od 5-50 g/m³, zavisno od mutnoće vode. NaAlO₂ se nabavlja kao 50% Al₂O₃.

– **FeCl₃ (feri hlorid)**

FeCl₃ je koagulant koji u vodi hidrolizuje i gradi amfoterni hidroksid Fe(OH)₃↓, koji taloži u vidu pahulja.

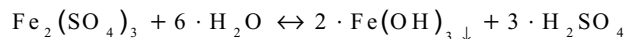


FeCl₃ reaguje sa tvrdoćom i gradi amfoterni hidroksid Fe(OH)₃↓:



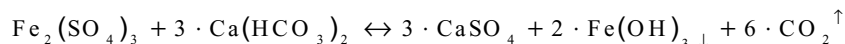
Potrebna doza FeCl₃ za koagulaciju u vodi iznosi od 5-100 g/m³, zavisno od mutnoće vode. FeCl₃ se nabavlja kao FeCl₃·6H₂O.

Fe₂(SO₄)₃ je koagulant koji u vodi hidrolizuje i gradi amfoterni hidroksid Fe(OH)₃↓ koji taloži u vidu pahulja.



Za neutralizaciju oslobođene kiseline se može ubacivati najbolje kreč (Ca(OH)₂) ili soda.

Fe₂(SO₄)₃ reaguje sa tvrdoćom i gradi amfoterni hidroksid Fe(OH)₃↓.



Potrebna doza Fe₂(SO₄)₃ za koagulaciju u vodi iznosi od 10-50 g/m³, zavisno od mutnoće vode. Fe₂(SO₄)₃ se nabavlja kao Fe₂(SO₄)₃·9H₂O.

2.3.2.2. Flokulanti

Flokulanti su katalizatori koagulacije, ubrzavaju reakcije, ili poboljšavaju kvalitet pahulja taloga.

– **Aktivni silicijum**

Aktivni Si je najviše upotrebljavan i postiže najbolje rezultate. Dobija se od Na-silikata kao 0.5-1% rastvor.

– **Polielektroliti**

Polielektroliti su čvrsti i tečni organski polimeri, koji se koriste za flokulaciju.

- nejonski polimeri, najčešće poliakrilamidi
- anjonski polielektroliti, najčešće poliakrilamid delimično hidrolizovan sodom
- katjonski polielektroliti, kao polivinilamin

2.3.3. Hemijska precipitacija (hemijsko taloženje)

Hemijska precipitacija (hemijsko taloženje) predstavlja taloženje slabo taložnih supstanci dodavanjem hemijskih jedinjenja koja prevode slabotaložne supstance u slabo rastvorne i taložive oblike. Postupak hemijske precipitacije je praćen intenzivnim mešanjem radi ostvarivanja što boljeg kontakta vode i dodatih hemikalija.

Postupak hemijske precipitacije se koristi za uklanjanje suspendovanih materija, BPK₅ i fosfora iz otpadnih voda.

Postupak hemijske precipitacije je vrlo efikasan postupak kojim se mogu ukloniti:

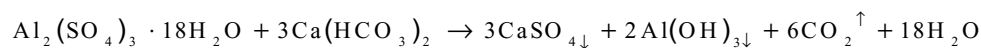
- | | |
|-------------------------|--------|
| — suspendovane materije | 80-90% |
| — BPK ₅ | 40-70% |
| — HPK | 30-60% |
| — bakterije | 80-90% |
| — fosfor | 70-90% |

Tabela 2.3.1 - Hemikalije koje se koriste u prečišćavanju otpadnih voda

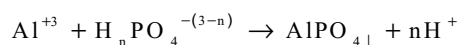
Hemijska supstanca	Mol. težina
Al ₂ (SO ₄) ₃ × 18H ₂ O	666.7
FeSO ₄ × 7H ₂ O	278.0
Ca(OH) ₂	56
FeCl ₃	162.1
Fe ₂ (SO ₄) ₃	400

– **Al₂(SO₄)₃ (aluminijum sulfat)**

Al₂(SO₄)₃ taloži soli koje daju vodi tvrdoću, bikarbonate Ca i Mg direktno, a ostale suspendovane materije posredno, sorpcijom na flokulama nastalog želatinoznog pahuljastog Al(OH)₃.

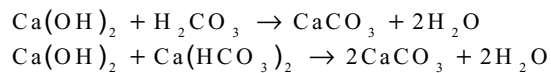


Al₂(SO₄)₃ uklanja i fosfor, najčešće iz oblika ortofosfata, kao slabo rastvorni Al-fosfat po relaciji:

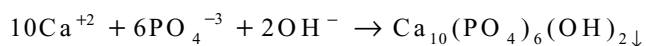


– **Ca(OH)₂ (kreč)**

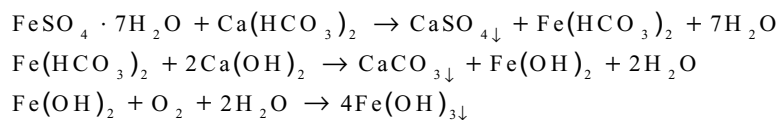
Kreč taloži soli koje daju vodi tvrdoću, bikarbonate Ca i slobodnu ugljenu kiselinu, direktno, a sa kiselinama reaguje i neutrališe kiselost.



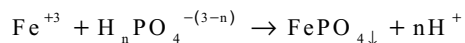
Kreč uklanja i fosfor, najčešće iz oblika ortofosfata, kao slabo rastvorni hidroksiapatit po relaciji:

– **Soli gvožđa**

Ferosulfat i kreč talože soli koje daju vodi tvrdoću, bikarbonate Ca direktno, a ostale suspendovane materije posredno, sorpcijom na flokulama nastalog želatinoznog pahuljastog Fe(OH)₃, pri čemu troši kiseonik iz vode.



Ferosulfat i kreč uklanjaju i fosfor, najčešće iz oblika ortofosfata, kao slabo rastvorni Fe-fosfat po relaciji:



2.3.4. Prenos gasova

2.3.4.1. Rastvorljivost gasova

Rastvorljivost gasova u vodi zavisi od nekoliko faktora:

- prirode gasa
- konc. gasa u gasnoj fazi (g/m^3) neposredno iznad površine tečnosti, što se manifestuje parcijalnim pritiskom gasa (p_a)
- temperature vode
- konc. soli i drugih primesa u vodi

Koncentracija gasa u vodi C_s je proporcionalna konc. gasa u gasnoj fazi C_g , odnosno parcijalnom pritisku gasa u gasnoj fazi p_a .

$$C_s = k_D \cdot C_g = k_D \cdot \frac{p_a \cdot M}{R \cdot T} = k_D \cdot \frac{M}{R \cdot T} \cdot p_a = k_H \cdot p_a$$

C_s - konc. gasa u vodi (g/m^3)

C_g - konc. gasa u gasnoj fazi (g/m^3)

k_D - konstanta proporcionalnosti

p_a - parcijalni pritisak gasa u gasnoj fazi (Pa)

M - molekulska masa gasa (g/mol)

R - univerzalna gasna konstanta ($8.3143 \text{ J}^\circ\text{K}\cdot\text{mol}$)

T - apsolutna temperatura gasa ($^\circ\text{K}$)

k_H - Henrijeva gasna konstanta (g/J)

Povećavanje temperature dovodi do smanjivanja rastvorljivosti gasova zbog smanjivanja parcijalnog pritiska gasa neposredno iznad tečnosti, usled koncentrovanja pare tečnosti u gasnoj fazi (na tački ključanja gasovi su nerastvorni u vodi).

Uticaj temperature na rastvorljivost gasova u vodi sledi iz relacije:

$$(k_D)_2 = (k_D)_1 \cdot e^{\text{const}(T_2 - T_1)}$$

Tabela 2.3.2 - Konstante proporcionalnosti rastvorljivosti gasova (k_D) za gasove

Gas	Mol. masa (g/mol)	ρ^* (kg/m ³)	konstanta proporcionalnosti k_D pri temperaturi				Temp. ključ. (°C)
			0°C	10°C	20°C	30°C	
O ₂	32.00	1.429	0.0493	0.0398	0.0337	0.0296	-183
CO ₂	44.01	1.997	1.710	1.230	0.942	0.738	-78.5
vazduh	(≈ 29.00)	1.2928	0.0288	0.0234	0.0200	0.0179	-
NH ₃	17.03	0.771	1.300	0.943	0.763	-	-33.4
H ₂ S	34.08	1.539	4.690	3.650	2.870	-	-61.8
CH ₄	16.014	0.7168	0.0556	0.0433	0.0335	0.0306	-162

* - za uslove T=10°C i pritisak od 101.315 kPa

2.3.4.2. - Prenos gasova**– Brzina prenosa gasova**

Brzina prenosa gasova iz vazduha u vodu se definiše relacijom:

$$\frac{dC}{dt} = \frac{A}{V} \cdot k_L \cdot (C_s - C)$$

C - konc. gasa u vodi (g/m^3)

C_s - konc. gasa u vodi pri zasićenju (g/m^3)

A - kontaktna površina gas-voda (m^2)

V - zapremina tečnosti (m^3)

k_L - koef. prenosa gasa (m/s)

t - vreme saturisanja tečnosti (s)

Koeficijent prenosa gasa k_L je funkcija koeficijenta difuzije gasa u vodi i vremena, a određuje se iz relacija :

$$k_L = \frac{D}{d_L} \quad \text{- po teoriji filma}$$

D - koef. difuzije gasa u vodi

d_L - debljina filma vode

$$k_L = \sqrt{\frac{D}{\pi \cdot t_c}} \quad \text{- po teoriji penetracije}$$

t_c - vreme saturacije

$$k_L = \sqrt{D \cdot S} \quad \text{- po teoriji obnavljanja površine}$$

S - učestalost obnavljanja površine gas-voda

Ukupni koeficijent prenosa gasova k_2 se izračunava po relaciji:

$$k_2 = k_L \cdot \frac{A}{V}$$

Uticaj koncentracija soli i drugih primesa na rastvorljivost gasova se definiše relacijom:

$$C_s = \frac{k_D}{\gamma} \cdot C_g$$

γ - koef. uticaja (dobija se kesperimentalno), za dest. vodu $\gamma=1.0$

Na rastvorljivost gasova utiče reaktivnost gasa sa vodom. Nastali joni ne učestvuju u prenosu gasova.

Od gasova koji su reaktivni sa vodom najčešće u vodi srećemo CO_2 , H_2S , NH_3 .

Ravnoteža i stabilnost nastalih jona, dobijenih rastvaranjem navedenih gasova u vodi, najviše zavisi od pH vrednosti vode.

2.3.4.3. Aeracioni sistemi

Sistemi za uvođenje vazduha u vodu (aeracioni sistemi) se nazivaju aeratori. Aeratori se, prema načinu ostvarivanja kontakta gas-voda, mogu podeliti na:

- gravitacioni aeratori
- sprej aeratori
- mlazni aeratori
- aeratori sa uduvanjem vazduha
- mehanički aeratori

Gravitacioni aeratori se konstruišu kao kaskade (stepenasti prelivnici između dva bazena), strme ravni (padovi sa filmom tečnosti između dva bazena), kontaktne kule (kule sa gravitacionim razlivanjem vode preko punjenja ili kaskada), u kojima se dovode u kontakt tanki slojevi vode (razliveni slojevi), koji se gravitaciono kreću na dole, sa vazduhom pod pritiskom, koji se kreće na gore. Razmena gasova se vrši na velikoj kontaktnoj površini faza.

Sprej aeratori su aeratori kod kojih se voda raspršuje u vidu finih kapi u vazduhu stvarajući veliku kontaktnu površinu sa gasom (otvorene i zatvorene kule sa raspršivanjem vode sa diznama u struji gasa). Razmena gasova se vrši na velikoj kontaktnoj površini faza.

Mlazni aeratori su oni aeratori kod kojih se recirkulacija vode pomoću snažnih pumpi kroz gasnu zonu (fontanski procesi), pri čemu mlaz "povlači" gas i "ubacuje" ga u vodu, čime povećava brzinu mešanja gasa i vode (turbulencija), kao i kontaktnu površinu gas-voda. Razmena gasova se vrši na velikoj kontaktnoj površini faza.

Aeratori sa uduvanjem vazduha su uređaji koji ubacuju komprimovani gas pod pritiskom u vodu i to:

- preko difuzora za fine mehuriće (≈ 0.1 mm), u obliku raznih poroznih ili sinter materijala, najčešće oblika ploče
- preko poroznih cevi za srednje fine mehuriće ($\approx 2-5$ mm), u obliku perforiranih cevi i sličnih elemenata
- preko otvora na cevima za grube mehuriće (> 5 mm), preko krajeva cevi ili creva potopljenih u vodu

Mehanički aeratori su uređaji koji mehanički povećavaju turbulenciju, kontaktnu površinu i uduvanje vazduha u vodu, principima intenzivnih mehaničkih mešanja faza. Prema konstrukciji mehanički aeratori mogu biti:

- površinske četke različitih konstrukcija
- turbine sa vertikalnom osovinom

2.3.4.4. Tehničke karakteristike aeracije

Koeficijent efikasnosti aeracije se izražava preko koeficijenta efikasnosti aeratora K, koji se određuje preko relacije:

$$K = 1 - e^{-k_2 \cdot t_k} = \frac{C_e - C_o}{C_s - C_o}$$

k_2 - ukupni koef. prenosa gasa u vodi C_e - konc. gasa u vodi posle vremena t_k
 C_o - konc. gasa u ulaznoj vodi t_k - vreme zadržavanja vode u aeratoru

Specifični kapacitet unošenja kiseonika po jedinici zapremine vode, OC ($\text{kgO}_2/\text{m}^3\cdot\text{h}$), se definiše za sledeće uslove sredine:

- temp. vode $10\text{ }^\circ\text{C}$
- pritisak gasa 101.315 kPa
- početna konc. gasa u vodi = 0

$$OC = k_2' \cdot c_s'$$

k_2' - ukupni koef. prenosa gasa u vodi k_2 , redukovano za temp. od $10\text{ }^\circ\text{C}$

c_2' - konc. gasa u vodi pri zasićenju na $10\text{ }^\circ\text{C}$ i 101.315 kPa

$$k_2' = k_2 \cdot \sqrt{\frac{D_{10}}{D_T}} = k_2 \cdot 1.0188^{10-T}$$

Kapacitet unošenja gasa u vodu, OC^* (kgO_2/h), predstavlja ukupnu vrednost prenosa gasa u vodi određene zapremine, a određuje se iz relacije:

$$OC^* = OC \cdot V$$

V - zapremina vode koja se saturira (m^3)

Efikasnost unošenja gasa u vodu, OE (kgO_2/kW), izražava se preko kapaciteta unošenja gasa i utrošene snage, a određuje se iz relacije:

$$OE = \frac{OC}{N}$$

N - snaga koja se troši na aerisanje (kW)

Procenat sorpcije gasa u vodi, η , se izražava preko kapaciteta unošenja gasa u vodu protoka vode i konc. gasa u gasnoj vaz. i, a određuje se iz relacije:

$$\eta = \frac{OC}{Q_v \cdot c_A}$$

$c_A = 0.28\text{ kgO}_2/\text{m}^3$ -sadržaj kiseonika u vazduhu na normalnom pritisku

Procenat sorpcije gasa po metru potopljenosti, η' , se izražava preko procenta sorpcije gasa u vodi i dubine potapanja aeratora, h , a određuje se iz relacije:

$$\eta' = \frac{\eta}{h}$$

2.4. Biološki postupci u prečišćavanju

Pod biološkim postupcima u prečišćavanju komunalnih otpadnih voda se podrazumevaju postupci koji baziraju na aktivnostima mikroorganizama u obradi otpadnih voda. Biološki postupci su osnovni postupci tretmana komunalnih otpadnih voda, na osnovu kojih se postavlja kompletna tehnološka linija i upravlja i reguliše ceo proces prečišćavanja otpadnih voda.

Prema kvalitetu operacija, kao i mogućnostima regulacije i upravljanja tokovima u procesu biološki postupci se mogu podeliti na:

- polutehnički postupci
- tehnički postupci

2.4.1. Polutehnički postupci

Polutehnički postupci se karakterišu ograničenim upravljanjem tokovima, kao i stepenom regulacije postupka. Delimično se može regulisati tok linije vode, mahom preko regulacije evakuacije tretirane vode, dok se tok linije mulja ni na jedan način ne može regulisati.

U polutehničke postupke spadaju:

- postupci u ribnjacima
- lagune za otpadnu vodu
- korišćenje otpadnih voda u poljoprivredi
- filtri u zemlji

Na tok procesa kod polutehničkih postupaka u ribnjacima i u lagunama deluje vremenski faktor, posebno tokom dužih jakih zima i vrelih leta, usled neodgovarajuće spoljne temperature, a sa aspekta optimalnih uslova za metabolizam mikroorganizama. Pri tome može dolaziti do većeg usporavanja ili prekomernog intenziviranja dinamike biohemijskih procesa usled promena biohemijske kinetike sa promenom temperature.

Takođe, usled promena temperature dolazi i do promene rastvorljivosti kiseonika u vodi, pri čemu može dolaziti do promena u samoj suštini bioloških procesa (aerobni, fakultativni, anaerobni procesi u zonama po vertikalnom preseku sloja vode u lagunama).

Stoga je permanentno praćenje dinamike rastvaranja kiseonika u aerisanim lagunama od vitalnog značaja za vođenje postupka pod optimalnim uslovima u lagunama, čime se izbegavaju sva moguća odstupanja, kako u tehnologiji obrade, tako i, pre svega, u tipu obrade (aerobna obrada, fakultativna obrada, anaerobna obrada), pošto su potrebni parametri, kao i efekti prečišćavanja, za različite tipove obrade kod navedenih laguna drastično različiti.

Polutehnički postupak u poljoprivredi nije potreban cele godine, već samo u pojedinim fazama vegetacije biljnih kultura, što je jako teško regulisati jer se vegetativni nivoi potrošnje vode i mulja u poljoprivredi ne poklapaju sa sezonskim opterećenjima komunalnih otpadnih voda koje se tretiraju.

Polutehnički postupci u savremenoj praksi predstavljaju kombinaciju kontinuiranog mehaničkog procesa (dovod otpadne vode i mehanički tretman) i biološke obrade otpadne vode i otpadnog mulja u aerisanim lagunama (tehnički postupci), sa retenzionim procesima separacije mulja u sistemu muljnih laguna u dugom vremenskom periodu (netehnički, odnosno prirodni postupci).

Polutehnički postupci se, kako u detaljima, tako i u celini, mogu tretirati i kao prirodni procesi, statički procesi, otvoreni procesi, odnosno periodični procesi.

2.4.2. Tehnički postupci

U tehničke postupke spadaju:

- bazeni sa aktivnim muljem
- biološki filtri

Tehnički postupci se karakterišu potpunim upravljanjem tokovima, kao i visokim stepenom regulacije postupka.

Nezavisno se mogu kompletno regulisati tokovi linije vode i linije mulja.

Tehnički postupci su kompletno kontinuirani postupci, od mehaničkog procesa (dovod otpadne vode i mehanički tretman), preko procesa zajedničkog ili odvojenog biološkog tretmana otpadne vode i otpadnog mulja, separacije linije vode i linije mulja, do korektivnih postupaka na efluentu prilikom evakuacije tretirane vode u recipijent.

Iako se i linija mulja može postaviti u protočnom (kontinuiranom) režimu, u praksi se linija mulja vodi periodično, tako što se mulj tretira u šaržama tokom određenog broja tehnoloških operacija pre konačnog odlaganja.

Tehnički postupci se mogu tretirati i kao zatvoreni procesi, odnosno kompaktni procesi.

2.4.3. Tehnički detalji biološkog tretmana

Biološkim tretmanom se prerađuju otpadne vode iz domaćinstva, industrijske sanitarne otpadne vode, tehničke i tehnološke industrijske otpadne vode pojedinih tipova industrijskih objekata, pre svega prehrambene industrije, koje ne sadrže biotoksične supstance.

U uklanjanju organskih materija učestvuju heterotrofni organizmi, koji uzimaju iz otpadnih voda deo organskih materija koje ugrađuju u biomasu (asimilacija). Drugi deo organske materije se prevodi u energiju, a zaostala čvrsta faza je u obliku minerala (oksidacija-mineralizacija).

Biološki postupci se mogu podeliti na:

- aerobne postupke
- anaerobne postupke

Kod aerobnih postupaka suština tretmana je prevođenje što većeg dela organske materije u aktivnu biomasu, koja se može mehanički ukloniti iz vode. Stepem mineralizacije aktivne biomase zavisi od vrste postupka.

Visoka mineralizacija odgovara polutehničkim postupcima, gde će produkte koristiti veći broj autotrofnih organizama, koji se hrane mineralnim azotom, ugljenikom i dr. i prevode ih (sintetizuju) u organske materije (forsiranje mineralizacije).

Kombinovane kanalizacione otpadne vode, koje sadrže komunalne i industrijske otpadne vode, nisu najpovoljnije za biološki tretman, pošto mikroorganizmi razgrađuju samo one organske materije koje imaju karakter hranljivih materija.

Kombinovane kanalizacione otpadne vode sadrže:

- relativno mali deo hranljivih materija u odnosu na ukupne prisutne materije
- promenljivi sadržaj prisutnih materija

U kombinovanim kanalizacionim otpadnim vodama je mali deo ugljenika prema nutrijentima (azot i fosfor) u odnosu na optimalni odnos u čisto komunalnim otpadnim vodama (C:N=12:1, C:P=30:1), kao i neodgovarajući sadržaj azota i fosfora u industrijskim otpadnim vodama. Stoga iz kombinovanih kanalizacionih otpadnih voda nije moguće potpuno ukloniti N i P,

a iz industrijskih otpadnih voda se ne može sav razgradivi ugljenik prevesti u gradivne materije. Tako deo navedenih supstanci (C, N, P) odlazi u recipijent kao proizvod fermentacije.

Ukupne razgradive organske materije u otpadnoj vodi, koje dođu na biološki tretman, prerađuju se do krajnjih komponenti CO_2 , N_2 , P_2O_5 . Efikasnost prerade zavisi od tipa postrojenja i uobičajeno iznosi:

- 45% kod postrojenje sa aktivnim muljem
- 55% kod visoko opterećenih bioloških filtra
- 80% kod nisko opterećenih bioloških filtra
- 100% kod filtra u zemlji

Sadržaj azota se smanjuje u otpadnim vodama višestrukim postupkom, koji se sastoji od sledećih operacija:

- prethodnog taloženja
- degazacije amonijaka
- kombinacijom nitrifikacije i denitrifikacije

Sadržaj fosfora se uklanja iz otpadnih voda složenim postupkom, koji se sastoji od:

- delimičnog mehaničkog prečišćavanja (precipitacija)
- delimičnog biološkog prečišćavanja

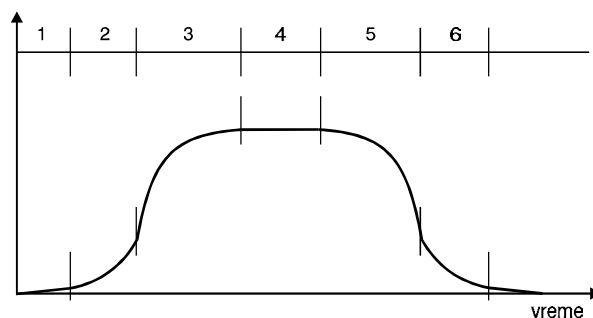
Faktori koji utiču na efikasnost biološkog prečišćavanja su:

- pH
- temperatura
- sadržaj hranljivih sastojaka
- sadržaj mikroelemenata
- određena konc. kiseonika (ili njegovo odsustvo)
- održavanje homogenizacije kod aktivnog mulja (debljine sloja kod filtra)
- vreme kontakta faza

2.4.3.1. Faze razvoja mikroorganizama u čistim kulturama

Mikroorganizmi u čistim kulturama prolaze kroz nekoliko faza svog razvoja. Dinamika razvoja bakterija u statičnoj (neprotlačnoj) kulturi data je na slici 10.

Slika 10 - Dinamika razvoja bakterija u neprotlačnoj kulturi



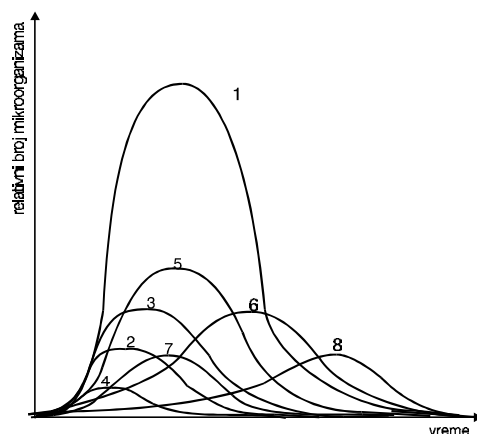
Faze razvoja bakterija u funkciji vremena su:

- (1) - latentna faza - aklimatizacija bakterija na sredinu, brzina rasta ≈ 0
- (2) - eksponencijalna faza rasta - uvećana stopa rasta broja MO
- (3) - logaritamska faza rasta - brzina rasta je konstantna, rast broja MO je logaritamski
- (4) - stacionarna faza - brzina rasta i brzina umiranja mikroorganizama su jednake (rast broja mikroorganizama $=0$)
- (5) - faza opadajuće brzine rasta - faza povećanja stope izumiranja, negativan rast broja mikroorganizama (rast broja mikroorganizama <0)
- (6) - letalna faza - faza konstantne stope izumiranja - endogena faza u kojoj mikroorganizmi troše sopstvene organizme za ishranu

2.4.3.2. Razvoj mikroorganizama u mešovitim kulturama

Otpadna voda je složena životna sredina (biocenoza) koja je sastavljena od različitih grupa mikroorganizama, čiji se sastav i broj u nepročnoj kulturi menja sa vremenom (slika 11).

Slika 11 - Relativni broj MO prilikom prečišćavanja otpadne vode



- (1) - bakterije
- (2) - fitoflagelate
- (3) - zooflagelate (hrane se i bakterijama)
- (4) - amebe
- (5) - slobodne cilijate
- (6) - vezane cilijate
- (7) - suctoria
- (8) - rotifere (višećelijski org.)

2.4.3.3. Stopa rasta mikroorganizama

U neprotočnoj kulturi, sa dovoljno hrane, stopa rasta mikroorganizama je proporcionalna koncentraciji (broju) mikroorganizama, prema izrazu:

$$r_g = \mu \cdot X$$

r_g - stopa rasta mikroorganizama (porast biomase u jed. vremena i u jed. zapremine)

μ - specifična stopa rasta mikroorganizama (u jedinici vremena)

X - koncentracija mikroorganizama (masa u jed. zapremine)

U protočnoj kulturi rast mikroorganizama je ograničen koncentracijom supstrata (slika 12), a uzima se i uticaj endogenog metabolizma (razgradnje mikroorganizama). Tako je odnos stope rasta mikroorganizama i supstrata dat izrazom:

$$\mu' = \mu_m \cdot \frac{S}{K_s + S} - k_d$$

μ' - neto spec. stopa rasta mikroorganizama

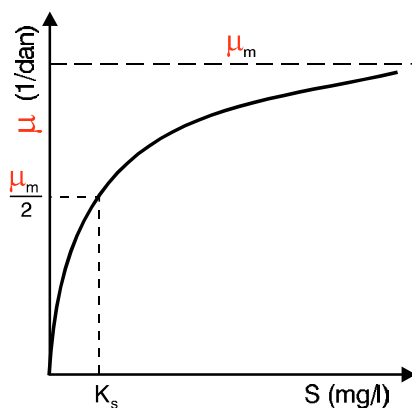
μ_m - maksimalna stopa rasta mikroorganizama

S - koncentracija ograničavajućeg supstrata u rastvoru

K_s - polusaturaciona konstanta (konc. supstrata za polovinu maksimalne stope)

k_d - koeficijent endogene ragradnje (u jedinici vremena)

Slika 12 - Uticaj koncentracije supstrata na specifičnu stopu rasta mikroorganizama



Temperatura utiče na stopu rasta mikroorganizama preko uticaja na metaboličku aktivnost mikroorganizama, prenos gasova i taloživost obrazovanih čestica.

$$\frac{r_{gT}}{r_{g20}} = \theta^{(T-20)}$$

r_{gT} - stopa rasta mikroorganizama na T

r_{g20} - stopa rasta MO na 20 °C

θ - temperaturni koeficijent

S - konc. ograničavajućeg supstrata u rastvoru

K_s - polusaturaciona konstanta (konc. supstrata za polovinu maksimalne stope)

k_d - koef. endogene ragradnje (u jed. vremena)

Tabela 2.4.1 - Temperaturni koeficijenti

Proces	Temperaturni koef. θ	
	opseg	tipična vrednost
aktivni mulj	1.00-1.04	1.02
aerisane lagune	1.04-1.12	1.08
biološki filtri	1.02-1.14	1.08

Biološko prečišćavanje otpadnih voda je moguće ako je pH otpadne vode u granicama od 6.5-8.5.

Regulacija pH i njegovo održavanje su, takođe, jedan od bitnih parametara procesa.

Tako se na biološkim postrojenjima, osim sadržaja kiseonika kao osnovne degradacione materije u biološkim procesima, permanentno prate i temperatura i pH vode, kako na ulazu u biološki proces, tako i na izlazu iz postrojenja za biološku obradu.

2.4.3.4. Procena organskih zagađenja

– HPK

Procena hemijske postrošnje kiseonika u otpadnoj vodi se vrši oksidacijom sa $K_2Cr_2O_7$ u prisustvu H_2SO_4 . Ovaj tretman obuhvata sva jedinjenja koja podležu oksidaciji, pre svega neorganske soli (sulfidi, soli metala niže valence i drugo) i veći deo organskih jedinjenja, i to ne samo biodegreabilnih, pri čemu neorganski derivati ugljovodonika ne podležu oksidaciji.

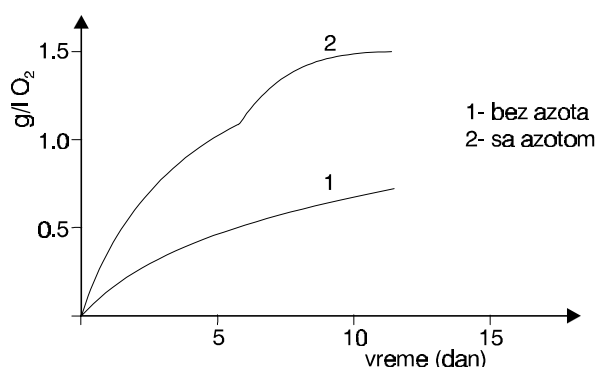
– BPK

Procena biološke postrošnje kiseonika u otpadnoj vodi se vrši tretmanom vode zasićavanjem kiseonikom sa inkubacijom na $20^\circ C$ i u tami. Biološka oksidacija kiseonikom pod dejstvom mikroorganizama, obuhvata samo biodegrabilna organska jedinjenja.

Za potpunu biološku oksidaciju biodegreabilnih jedinjenja u otpadnoj vodi potrebno je 21-28 dana (BPK_{21} i BPK_{28}).

Tom prilikom prvo oksidišu jedinjenja ugljenika, pa onda jedinjenja azota (slika 13) u postupku nitrifikacije.

Slika 13 - Potrošnja kiseonika u biološkim procesima



Zbog veoma dugog vremena potrebnog za analizu (BPK_{21} i BPK_{28}) usvojena je kao merodavna analiza od 5 dana inkubacije - BPK_5 .

Ako su u otpadnoj vodi sve organske materije biodegreabilne, onda je $HPK=BPK_{21}$. Ovaj odnos za glikozu iznosi :

$$\frac{BPK_{21}}{BPK_5} = \frac{HPK}{BPK_5} = 1.46$$

Ako u vodi ima i organskih nebiodegreabilnih materija (celuloza, ugljena prašina, lignin, tanini, strugotina od drveta i drugo), kao kod komunalnih otpadnih voda, onda je $HPK>BPK_{21}$.

2.4.3.5. Aerobna obrada

– Teorijska potrošnja O_2

Utrošeni kiseonik - g_{O_2} , se određuje iz izraza:

$$g_{O_2} = a' \cdot L_e + b' \cdot S_i$$

L_e - eliminisana masa biodegreabilne organske materije (kg/dan)

S_i - masa organskih materija u trulištu (kg/dan)

a' , b' - koef. određeni eksperimentalno u laboratoriji

– Prinos biomase

Proizvedena biomasa (višak mulja) - ΔS_i , se određuje iz izraza:

$$\Delta S_i = a_m \cdot L_e - b \cdot S_i$$

$$\frac{\Delta S_i}{S_i} = a_m \cdot \frac{L_e}{S_i} - b$$

Ovo je linearna jednačina tipa $y=a \cdot x-b$, pa se vrednosti parametara a_m i b mogu odrediti sa dijagrama.

2.4.3.6. Parametri biološkog reaktora

– Opterećenje bio mase

Opterećenje bio mase (faktor opterećenosti) u bio reaktoru - C_m , je odnos unete biodegreabilne mase i ukupne mase mulja u reaktoru, što se definiše relacijom:

$$C_m = \frac{L_o}{S_u}$$

– Opterećenje zapremine

Maseno opterećenje zapremine bio reaktora - C_v , (organsko opterećenje zapremine reaktora) predstavlja odnos unete biodegreabilne mase i ukupne zapremine reaktora, što se definiše relacijom:

$$C_v (\text{kg} / \text{m}^3 \cdot \text{dan}) = \frac{L_o}{V}$$

– Starost mulja

Starost mulja u bio reaktoru - A , je odnos ukupne mase i viška mase mulja u reaktoru, što se definiše relacijom:

$$A (\text{dan}) = \frac{S_u}{\Delta S_u}$$

Starost mulja kod anaerobnih reaktora se zove kritično vreme retenzije - TRS, a definiše se relacijom:

$$\text{TRS}(\text{dan}) = \frac{S_u}{\Delta S_u}$$

– Potreba za hranljivim materijama

Za ishranu mikroorganizama iz mulja su, pored organskih materija, kao energenti potrebne materije sa azotom i fosforom, kojih ima u komunalnim otpadnim vodama, ali ih nema dovoljno u industrijskim otpadnim vodama, pa se kod prečišćavanja industrijskih otpadnih voda hranljive materije moraju povremeno dodavati u bio reaktore. Takođe, pri takozvanim "stand by" biološkim operacijama, održavanju mikroorganizama prilikom isključivanja postrojenja, moraju se povremeno dodavati hranljive materije.

– Toksičnost

Sadržaji nekih teških metala, Cu^{+2} , Cr^{+6} , Cd^{+2} , čak i u malim količinama uništavaju metabolizam mikroorganizama.

Stoga se iz kombinovanih kanalizacionih voda, pre svega iz dela industrijskih otpadnih voda, moraju uklanjati sadržaji navedenih teških metala.

Kao što sledi iz izloženog materijala, industrijske otpadne vode, pre upuštanja u kanalizacioni sistem i mešanja sa komunalnim otpadnim vodama, moraju da prođu odgovarajući predtretman, kojom prilikom bi se ispoštovali navedeni parametri, koji značajno determinišu procese biološkog tretmana.

2.5. Uredaji u postrojenjima za prečišćavanje otpadnih voda

2.5.1. Objekti i uređaji za primarno (mehaničko) prečišćavanje

U uređaje za mehaničko prečišćavanje spadaju:

- a) rešetke
- b) sita
- c) usitnjivači
- d) hvatači peska (peskolovi)
- e) bazeni za stabilizaciju toka i homogenizaciju (puferi)
- f) primarne taložnice
- g) hvatači masti i ulja

2.5.1.1. Rešetke

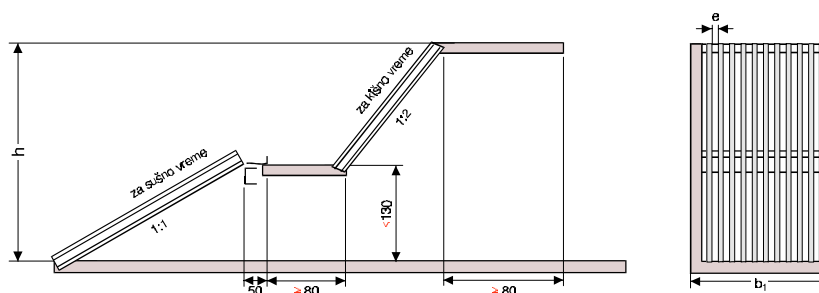
Rešetke u praksi mogu biti grube i fine rešetke, metalne šipke postavljene pod uglom u odnosu na horizontalu u kanalu sa horizontalnim ili nagnutim dnom.

– Ručno čišćene rešetke

Ručno čišćene rešetke (slika 14) uobičajeno se koriste kod manjih instalacija, kao i pre primarnog dizanja otpadne vode na radni nivo, kao grube rešetke, kod velikih instalacija.

Pri postavljanju ručno čišćenih rešetki mora se voditi računa o tehnici evakuacije grubog otpada sa rešetki, posebno o tehnici izvlačenja otpada iz šahte.

Slika 14 - Ručno čišćena rešetka



– Mehanički čišćene rešetke (automatske rešetke)

Mehanički čišćene rešetke, ili automatske rešetke, karakterišu se permanentnim automatskim čišćenjem rešetki tokom rada.

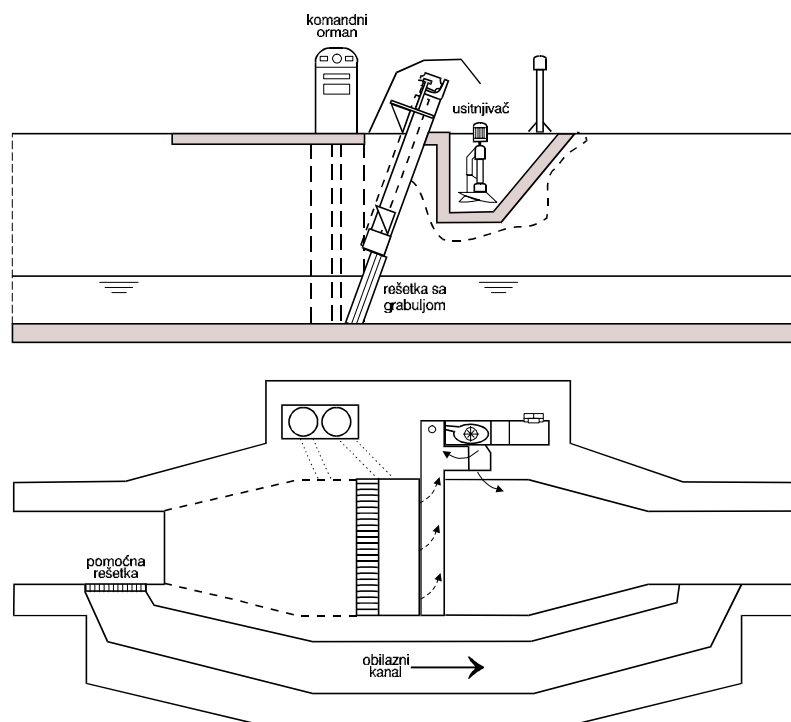
Skinuti čvrsti otpad sa rešetki se može, ili posle usitnjavanja spaljivati zajedno sa drugim komadnim čvrstim otpadom na samom postrojenju, ili skladištiti u kontejner i deponovati na komunalnoj deponiji.

Tip rešetke određuje princip automatskog čišćenja rešetke.

Princip automatskog čišćenja kod lučnih rešetki najčešće se ostvaruje rotacijom četke za čišćenje rešetki, pri kojoj jednim delom puta rotacije četka ide preko rešetke.

Princip automatskog čišćenja kod ravnih zakošenih rešetki najčešće se ostvaruje kretanjem četke za čišćenje rešetki preko rešetke pomoću lančanog transportera, pri čemu na uzlaznom delu puta četka ide preko rešetke (slika 15).

Slika 15 - Mehanička gruba rešetka sa usitnjivačem i baj-pas kanalom



Brzina strujanja vode kroz rešetku od 0.8-1.0 m/s pri suvom vremenu, odnosno 1.5 m/s za vreme kiše, obezbeđuje da otpaci delimično ne prolazile kroz rešetku, odnosno da jaka struja vode ne smeta prilikom skidanja balasta, ako su brzine veće.

Minimalna brzina strujanja u kanalu rešetke ne sme biti manja od 0.5 m/s zbog taloženja peska.

Ako se pravi proširenje kanala za rešetku, uglovi proširenja u odnosu na osu kanala ne smeju biti veći od 20° zbog inercionog zaustavljanja i taloženja peska.

Zapreminska težina materijala uklonjenog sa rešetke se kreće u granicama od 0.7-1.0 kg/m³.

Potrebna širina rešetke se računa iz izraza:

$$b_r = \frac{Q \cdot (s + e)}{w \cdot v_r \cdot e \cdot f}$$

b_r - širina rešetke (m)

Q - proticaj vode (m³/s)

e - najmanji čisti otvor između štapova (m)

s - najveća debljina štapova (m)

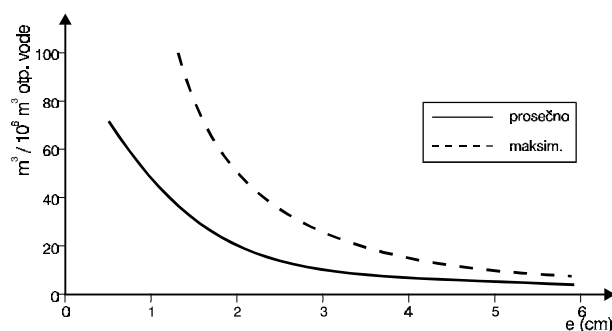
w - dubina vode ispred rešetke (m)

v_r - brzina vode između štapova rešetke (m/s)

f - stepen zapušenosti rešetke (≤ 0.9)

Zavisnost količine uklonjenog materijala od otvora rešetke dat je na slici 16.

Slika 16 - Količina materijala izdvojenog na mehaničkoj rešetki



Tipične vrednosti pojedinih veličina kod grubih rešetki date su u tabeli 2.5.1.

Tabela 2.5.1 - Tipične vrednosti pojedinih veličina kod grubih rešetki

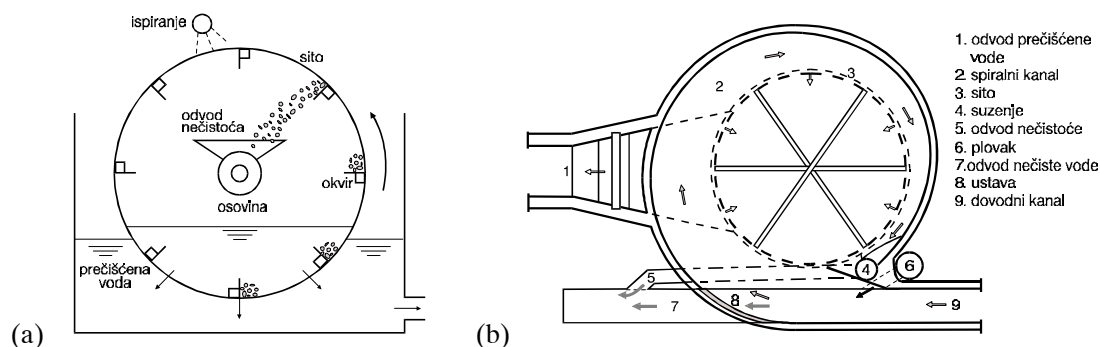
Veličina	Čišćenje rešetke	
	ručno	mehanički
dimenzije šarki		
širina (mm)	5-15	5-15
debljina (mm)	25-75	25-75
širina otvora između šipki (mm)	25-50	15-75
nagib rešetke od vertikale (°)	30-45	0-30
brzina vode u kanalima (m/s)	0.3-0.6	0.6-1.0
hidraulički gubitak u eksploataciji (mm)	100-400	100-400

2.5.1.2. Sita

Sita su uređaji za delimično prečišćavanje otpadnih voda, namenjenih prvenstveno za uklanjanje suspendovanih materija, najčešće pri tretmanu slivnih voda usled atmosferskih, kada se mešaju mreže kišne i komunalne kanalizacije.

Sita mogu biti rotaciona (slika 17) i koaksijalna. Najčešće se u praksi koriste rotaciona sita. U našoj praksi sita nisu dovoljno zastupljena.

Slika 16 - Rotaciona sita (a) doboš sito (b) potopljeno sito na izlivu kišnice

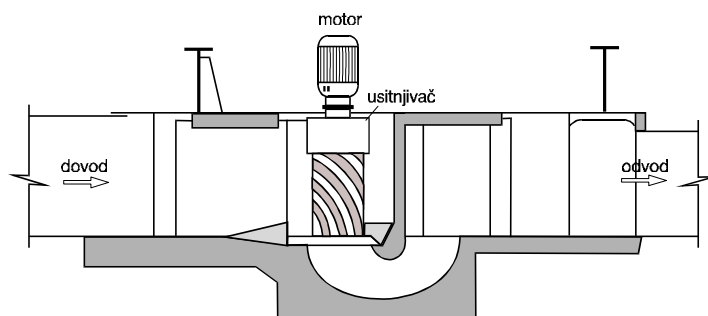


2.5.1.3. Usitnjivači (kominutori)

Usitnjivači (slika 18) su uređaji za usitnjavanje čvrstih komada bez uklanjanja iz otpadnih voda. Koriste se tamo gde se ne ugrađuju grube rešetke za prečišćavanje otpadnih voda. Usitnjeni materijal ostaje u vodi, pa se uklanja ili sitom, ili finom rešetkom.

Usitnjivači kao mehanički uređaji nisu zastupljeni u našoj praksi.

Slika 18 - Usitnjivač



Ispred usitnjivača predvideti peskolov da se ne bi habali delovi usitnjivača.

2.5.1.4. Hvatači peska (peskolovi)

Hvatači peska su uređaji za uklanjanje sitnozrnog inertnog materijala velike brzine taloženja (pesak, šljaka, kristali) iz otpadne vode. Hvatači peska su neophodni kod zajedničkog, industrijskog i komunalnog kanalizacionog sistema, kao i kod sistema gde se mešaju kišna i komunalna kanalizacija.

Tabela 2.5.2 - Parametri slobodne sedimentaciji peska

d (mm)	0.05	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	1.0	2.0	3.0	5.0	10.0
v_1 (cm/s)	15	20	27	32	38	42	60	83	100	130	190
v_c (cm/s)	0.2	0.7	2.3	4.0	5.6	7.2	15	27	35	47	74
$v_{c'}$ (cm/s)	0.0	0.5	1.7	3.0	4.0	5.0	11	21	26	33	-
$v_{c''}$ (cm/s)	0.0	0.0	1.6	3.0	4.5	6.0	13	25	33	45	65

d (mm) - prečnik čestice peska

v_1 (cm/s) - kritična horizontalna brzina fluida za istaložene čestice

v_c (cm/s) - brzina taloženja pri $v_h=0$ fluida

$v_{c'}$ (cm/s) - brzina taloženja pri $v_h=v_1$ fluida

$v_{c''}$ (cm/s) - brzina taloženja pri $v_h=0.3$ m/s fluida

Prezentirani rezultati u tabeli 19 se koriguju u sledećim slučajevima:

- oblik zrna (u odnosu na sferičan)
- konc. čvrstih čestica u suspenziji preko 0.5%
- priroda horizontalnog oticanja

– Peskolovi sa horizontalnim tokom

To su izduženi, pravougaoni uređaji sa regulisanom evakuacijom vode preko preliva koji je postavljen na suprotnoj strani od ulaza vode. Horizontalna brzina toka je konstantna i iznosi oko 0.3 m/s. Ova brzina je neophodna za odnošenje svih organskih suspendovanih supstanci. Osnovni nedostatak horizontalnih peskolova predstavlja taloženje i veće mase organskih materija sa peskom (50%:50%).

Vađenje peska iz peskolova se vrši različitim uređajima (pumpe, grajferi i dr.).

Tabela 2.5.3 - Tipične vrednosti za peskolov sa horizontalnim tokom

Kvalitet	Vrednost	
	opseg	tipična
vreme zadržavanja vode (s)	45-90	60
horizontalna brzina toka (m/s)	0.215-0.40	0.3
brzina tonjenja zrna (m/min) $d=0.21 \text{ mm}^{\text{a)}$	1.0-1.3	1.15
$d=0.15 \text{ mm}^{\text{a)}$	0.6-0.9	0.75
Povećanje dužine peskolova zbog turbulencije	$2 \cdot h^{\text{b)}$ - $0.5 \cdot L^{\text{c)}$	-

^{a)} - za spec. težinu zrna od 2 650 kg/m³

^{b)} - h - maksimalna dubina vode u peskolovu

^{c)} - L - dužina peskolova prema teoriji idealnog taloženja

– Peskolovi sa kružnim tokom

U peskolovima sa kružnim tokom strujanjem vode po spirali dolazi do pada pritiska po dnu u smeru od periferije ka centru, usled čega se pesak sakuplja u sredini, odakle se evakuše pomoću pumpom (slika 19).

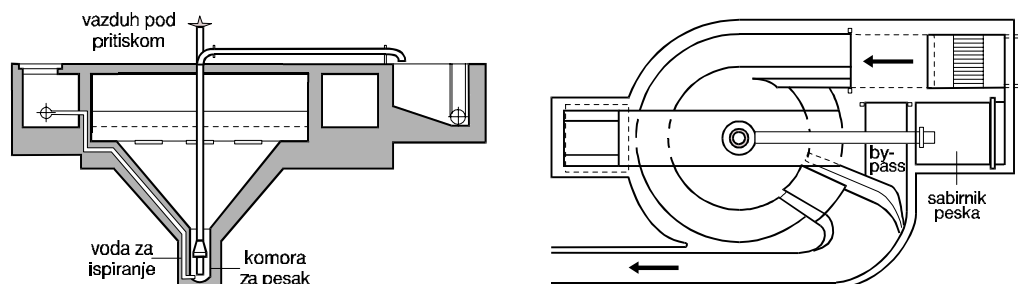
Teorijsko vreme zadržavanja u toku (bez protoka za pesak) je 30-50 s. Vrednost vremena zadržavanja pri maksimalnom toku ne sme pasti ispod 25 s.

Odnos prečnika i dubine u radnom delu peskolova je 2:1.

Optimalna brzina toka na prelivu iznosi 0.3-0.5 m/s.

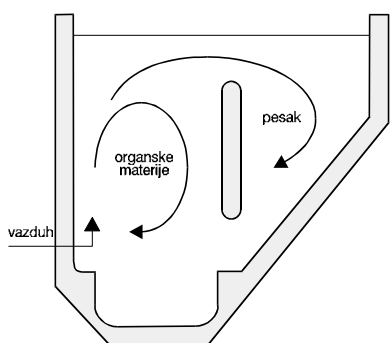
Površinsko opterećenje peskolova se kreće u granicama 1.2-4.0 cm/s, za maksimalni proticaj.

Slika 19 - Taložnica za pesak sa kružnim tokom



– **Aerisani peskolovi****Aerisani peskolov sa horizontalnim tokom**

Slika 20 - Aerisani peskolov sa horizontalnim tokom



Kod pravougaonih aerisanih peskolova uduvavanje vazduha u peskolov se vrši kroz difuzore postavljene na oko 0.5 m od dna, na dužoj strani bazena izaziva se kružno strujanje vode u poprečnom preseku, što superpozicijom sa horizontalnim kretanjem daje helikoidno kretanje.

Aerisanjem se taloži čistiji pesak sa malom količinom organskih materija, pošto se organske materije ovakvim strujanjem odvajaju od peska i održavaju u suspenziji, što smanjuje potreban put razdvajanja, pa samim tim i dimenzije peskolova u odnosu na peskolove sa horizontalnim tokom. Takođe, aerisanjem se unosi i određena količina kiseonika u otpadnu vodu.

Tabela 2.5.4 - Tipične vrednosti za dimenzionisanje aerisanih peskolova

Veličina	Dim.	Vrednost	
		opseg	tipična
Dimenzije: dubina	m	2.0-5.0	-
dužina	m	7.5-20	-
širina	m	2.5-7.0	-
Vreme zadržavanja pri max. protoku	min	2-5	3
Potreba za vazduhom	m ³ /m ³ ·min	0.15-0.45	0.30
Količina istaloženog materijala	m ³ /10 ³ m ³ o.v.	0.004-0.700	0.015

– **Oprema za aeraciju i mešanje**

Oprema za homogenizaciju suspendovane materije, radi sprečavanja taloženja, kao i uvođenje kiseonika u otpadnu vodu radi održavanja aerobnih uslova i sprečavanja truljenja, postiže se površinskim aeratorima (površinske turbine, mamut rotori i sl.).

Za mešanje je potrebno energije 0.004-0.008 kW/m³otp.vode, a za održavanje aerobnih uslova 0.10-0.15 kW/m³otp.vode·min.

Minimalna dubina vode u bazenima se najčešće kreće u granicama od 1.5-2.0 m.

– **Uređaji za evakuaciju vode**

Za evakuaciju vode iz bazena se mogu koristiti pumpe, ustave, ili prelivnice za regulaciju protoka, što zavisi od visinskog rasporeda između objekata.

Bazeni za ujednačavanje toka su veoma korisni kod većih postrojenja na koja dolaze otpadne vode sa periodičnim velikim nanosom, najčešće usled mešanja komunalne sa kišnom kanalizacijom.

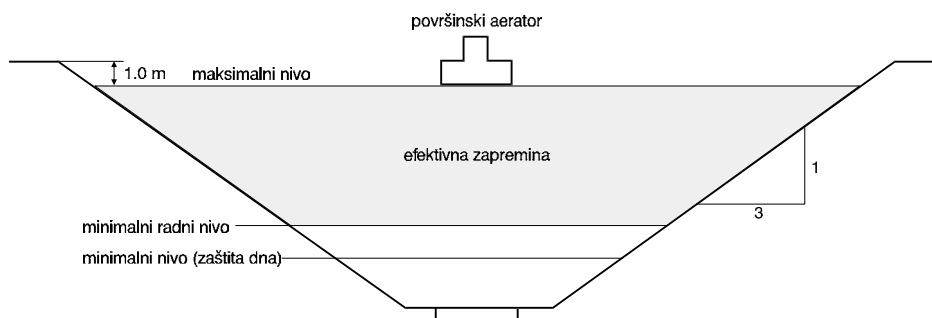
Za postrojenja preko 100 000 ES može se smatrati da su ovakvi bazeni kao sigurnosni preduređaji veoma korisni za više namena, sprečavanje nanosa, sprečavanje hidrauličkih udara, sprečavanje zaglavlivanja zasuna i rešetki, ili začepljenja ulaznih cevovoda sa veoma krupnim balastom, ne retko i leševima životinja, ili komadima odbačenog nameštaja i slično.

2.5.1.5. Bazeni za stabilizaciju toka i homogenizaciju (puferi)

Bazeni za ujednačavanje protoka su ukopani betonski bazeni (slika 21), sa geometrijom koja onemogućava istaložavanje suspendovanih materija

Proračunavaju se iz bilansa dotekle i istekle vode u određenom periodu, a iz razloga sigurnosti se uvećavaju još za 10-20% (efektivna zapremina).

Slika 21 - Bazeni za ujednačavanje protoka otpadne vode



2.5.1.6. Prethodne taložnice

Prethodne taložnice su betonski bazeni u kojima je brzina toka veoma mala, čime se omogućava sedimentacija suspendovanih materija, kao i isplivavanje na površinu spec. lakših čvrstih predmeta, kao i supstanci (ulja, masti i dr.).

U taložnicama se vrši evakuacija istaloženog mulja sa dna, kao i sakupljene pene sa površine, preko preliva za penu postavljenih uz obodni preliv za izbistrenu vodu.

Prethodnim taložnicama se može ukloniti 50-70% suspendovanih materija, 25-40% BPK₅. Efikasnost taloženja u primarnim taložnicama zavisi od površinskog opterećenja. Dubina primarnih taložnica mora biti veća od 2.5 m.

Tabela 2.5.5 - Tipične vrednosti za dimenzionisanje primarnih taložnica

Veličina	Dim.	Vrednost	
		opseg	tipična
Prethodna taložnica bez povratnog mulja			
Vreme zadržavanja	h	1.5-2.5	2.0
Površinsko opterećenje			
pri srednjem protoku	m ³ /m ² ·dan	32-48	-
pri maksimalnom protoku	m ³ /m ² ·dan	80-120	100
Opterećenje preliva	m ³ /m·dan	125-500	250
Prethodna taložnica sa povratnim muljem			
Vreme zadržavanja	h	1.5-2.5	2.0
Površinsko opterećenje			
pri srednjem protoku	m ³ /m ² ·dan	24-32	-
pri maksimalnom protoku	m ³ /m ² ·dan	48-70	60
Opterećenje preliva	m ³ /m·dan	125-500	250

Oblikovanje ulazne zone u primarnoj taložnici ima veliki značaj za primarno taloženje, pošto je potrebno što ravnomernije rasporediti protok po širini profila taložnice, čime se umanjuje pojava sekundarnog strujanja u taložnici (pregradni zidovi, razbijači mlaza i dr.).

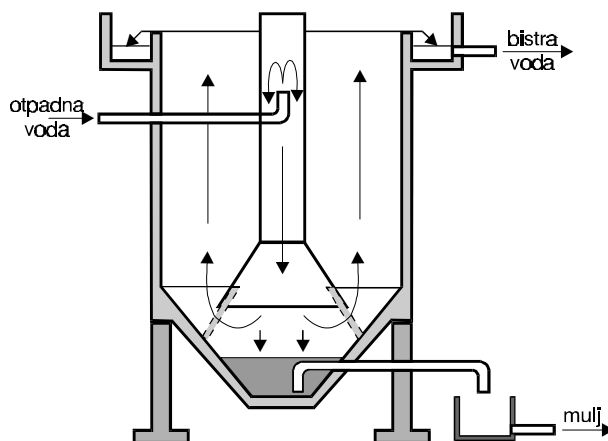
Evakuacija izbistrene vode se vrši preko preliva, u čijoj zoni dolazi do pojave vertikalnih komponenti brzina strujnica, usled zakrivljavanja pravca strujanja, koje mogu podići i poneti istaloženi mulj, pa se ograničava opterećenje preliva (m^3 vode na dan po m prelivne ivice).

– Cilindrično-konične statičke taložnice

Statičke taložnice (slika 22) su cilindrične taložnice sa vertikalnim strujanjem, malih kapaciteta do $20 \text{ m}^3/\text{h}$, za naselja od 1 000 - 2 000 ES. Koriste se i u većim sistemima za malu količinu mulja veće gustine, posle flokulacije.

Ulazna brzina vode iznosi 1-2 m/h, a nagib konusa dna iznosi $45-65^\circ$.

Slika 22 - Cilindrično-konične statička taložnica



– Pravougaone prethodne taložnice

Pravougaone prethodne taložnice (slika 23) su pravougaoni bazeni betonske konstrukcije, kod kojih se odnos dužine i širine obično kreće u opsegu 3 i 6, a dubina u opsegu od 2.5 i 4 m.

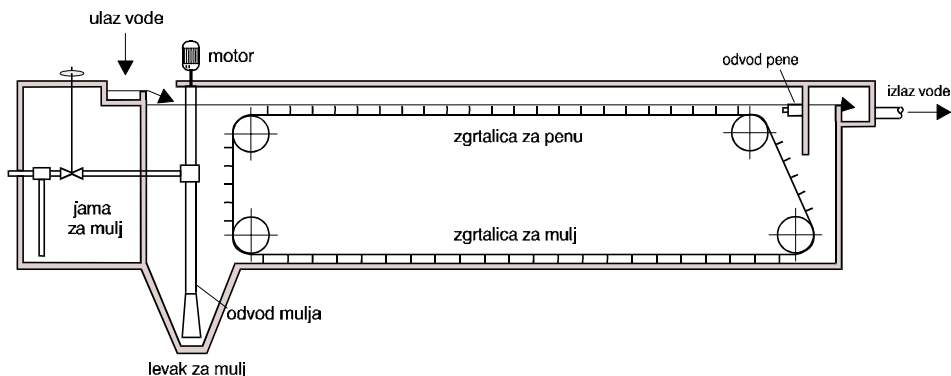
Voda se uvodi sa uže strane bazena, a evakuše preko preliva na suprotnoj užoj strani bazena.

Zona mulja je na ulaznom delu vode, u obliku ispusta (šikane) za mulj, koji se evakuše iz ispusta sa muljnom pumpom. Mulj se potiskuje ka ispustu u kontra smeru od toka vode uronjenom zgrtalicom laganim guranjem po dnu.

Nagib dna bazena ka zoni mulja sa oko 1%.

Pena se skida sa površine na suprotnoj užoj strani pre preliva, od koga se razdvaja najčešće potopljenim pregradnim zidom, pomoću zgrtača pene, koji se kreću istostrujno sa vodom.

Slika 23 - Pravougaona prethodna taložnica

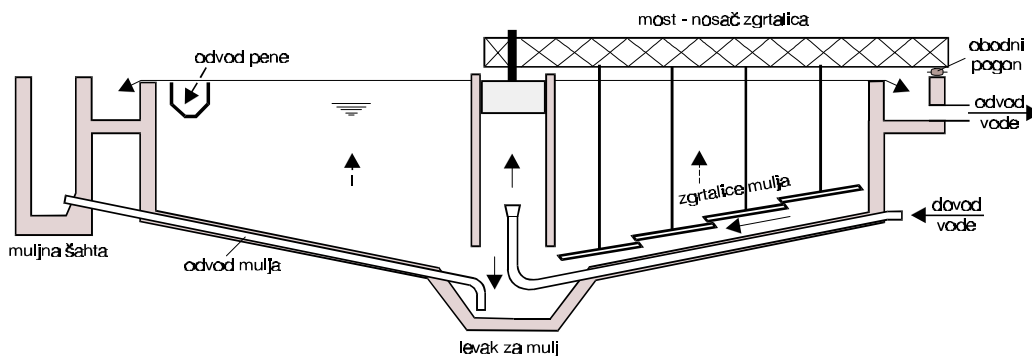


– Kružne prethodne taložnice

Kružne prethodne taložnice (slika 24) su okrugli bazeni betonske konstrukcije, u koje se voda uvodi u centralni stub bazena odozdo, a evakuše preko preliva po obodu na vrhu bazena.

Kretanje vode kroz taložnicu je radijalno, od sredine, ispod centralnog stuba, ka obodno postavljenim prelivima - prorezima postavljenim po zidu bazena, neposredno ispod oboda bazena.

Slika 24 - Radijalna prethodna taložnica (dekanter)



Zona mulja je na centralnom delu bazena, u obliku ispusta (šikane) za mulj, koji se evakuše iz ispusta sa muljnom pumpom. Mulj ka ispustu laganim guranjem po dnu potiskuju uronjene zgrtalice, sa pogonom preko mosne konstrukcije.

Pogon mosta je motorni, preko pogonskog točka koji se kreće po obodnom zidu bazena, dok se druga strana mosta okreće oko fiksirane centralne osovine.

Osnovni problem na koji treba obratiti pažnju je habanje staze po obodu bazena od težine mosne konstrukcije, kao i mogućnost rada pogonskog točka u zimskim uslovima.

Pena sa površine vode u bazenu skida se pomoću posebne šahte za penu, postavljene uz sam obod bazena, pre preliva za izbistrenu vodu.

Izbistrena voda se iz bazena evakuše preko preliva po obodu bazena i sakuplja u otvorenom prstenastom kanalu.

2.5.1.7. Separatori ulja i masti

– Prelivi za penu

Prelivi za penu za separaciju ulja i masti iz komunalne, kao i mešane komunalne i industrijske otpadne vode, najčešće se koriste prelivni kanali za penu postavljeni na obodu taložnice, preko kojih se površinski sloj vode evakuiše u posebnu šahtu. Evakuacija zauljene vode iz šahte se može vršiti potapajućim pumpama periodično.

Postavljaju se na horizontalnim prethodnim taložnicama.

– Komorni separatori

Za separaciju ulja i masti se mogu koristiti i samostalni uređaji, najčešće kao šahte, betonske konstrukcije, ili od konstrukcionih materijala koji se postavljaju u izlaznu zonu kružnih taložnica.

Problemi koji se moraju predvideti se odnose na postojanje plivajućeg komadnog otpada, posebno kod većih postrojenja, koji može mehanički začeptiti odvodni cevovod iz šahte, ukoliko se ne predvidi evakuacija pomoću dovoljne količine vode.

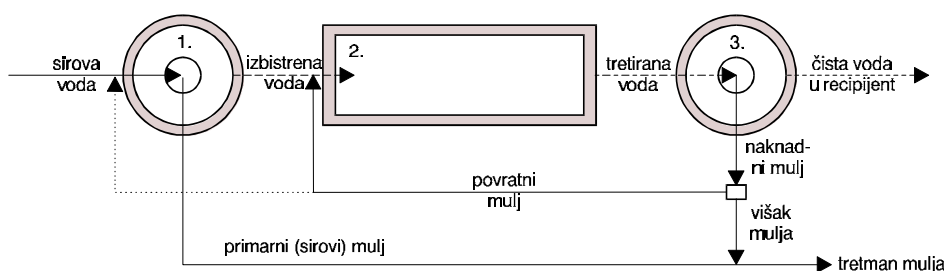
2.5.2. Objekti i uređaji za sekundarno (biološko) prečišćavanje

U biološkim procesima se iz otpadne vode uklanjaju supstance koje u prirodnim vodama podležu razgradnji usled dejstva prisutnih mikroorganizama u vodi, tako što se u kontrolisanim uslovima ubacivanjem određene kulture MO simulira proces u prirodnim vodama.

Biološki procesi se mogu odvijati u uslovima sa dovoljno prisutnog kiseonika (aerobni procesi), nedovoljno kiseonika (fakultativni procesi), kao i bez kiseonika (anaerobni procesi).

Konvencionalna postrojenja (slika 23) predstavljaju klasična postrojenja, koja se u dugom vremenskom periodu primenjuju u postupcima za tretman komunalnih otpadnih voda.

Slika 25 - Blok šema konvencionalnog postrojenja



1. Prethodna taložnica
2. Bioaeracioni bazen sa klipnim strujanjem
3. Naknadna taložnica

Deo mulja iz bioaeracionog bazena, takozvani povratni mulj, izdvojen na naknadnoj taložnici, vraća se u proces na ulazu u bioaeracioni bazen, čime se otpadna voda stalno zasejava kulturom mikroorganizama, a i čestice mulja se ukрупnjavaju i bolje mineralizuju u procesu. Povratnim muljem se održava potrebna koncentracija mikroorganizama u biološkom procesu.

Odnos između koncentracije mikroorganizama i koncentracije hranljivih materija u procesu se naziva **opterećenje mase mulja**.

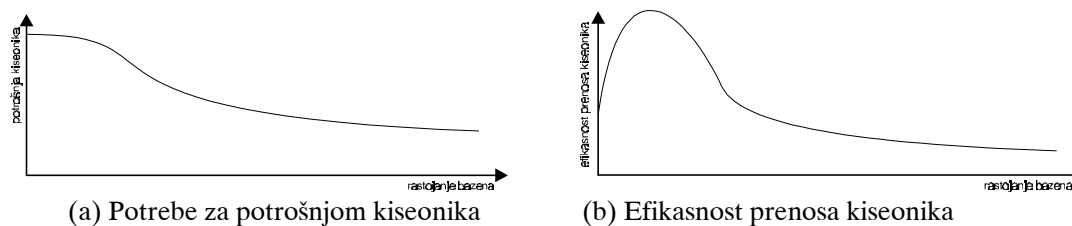
Višak mulja iz naknadne taložnice se odvodi na poseban tretman proreagovalog mulja, ili se meša sa sirovim muljem iz primarne taložnice i odvodi na zajednički tretman kombinovanog mulja.

2.5.2.1. Konvencionalni postupak

– Bioaeracioni bazen sa klipnim strujanjem

Klipno strujanje predstavlja zajednički tok otpadne vode i vazduha od ulaza u bazen pa duž bazena. Kiseonik za proces se dodaje u otpadnu vode na početku bazena, pa se njegovo prenošenje menja duž bazena. Karakteristike bioaeracionih bazena sa klipnim strujanjem su prikazane na skici 26.

Slika 26 - Karakteristike bioaeracionih bazena sa klipnim strujanjem



Stepenasto dodavanje kisonika

Kiseonik se dodaje duž cele ivice bazena u različitim količinama, zavisno od potreba za kiseonikom u zonama bazena.

Modifikovana aeracija

Modifikovana aeracija se odlikuje većim opterećenjem mulja, manjom koncentracijom mulja u bazenu, kraćim vremenom trajanja aeracije, kao i nižom efikasnošću od konvencionalnog postupka.

Visoko opterećeno postrojenje

Visoko opterećeno postrojenje se karakteriše kraćim vremenom aeracije, znatno većom koncentracijom mulja u bazenu, višim stepenom prečišćavanja od modifikovane aeracije, kao i visokim stepenom recirkulacije povratnog mulja.

Kod visoko opterećenih postrojenja je obavezna primena površinske aeracije, zbog potrebe za dobrim mešanjem i održavanjem pogodne veličine pahulje mulja.

Stepenasto dodavanje otpadne vode

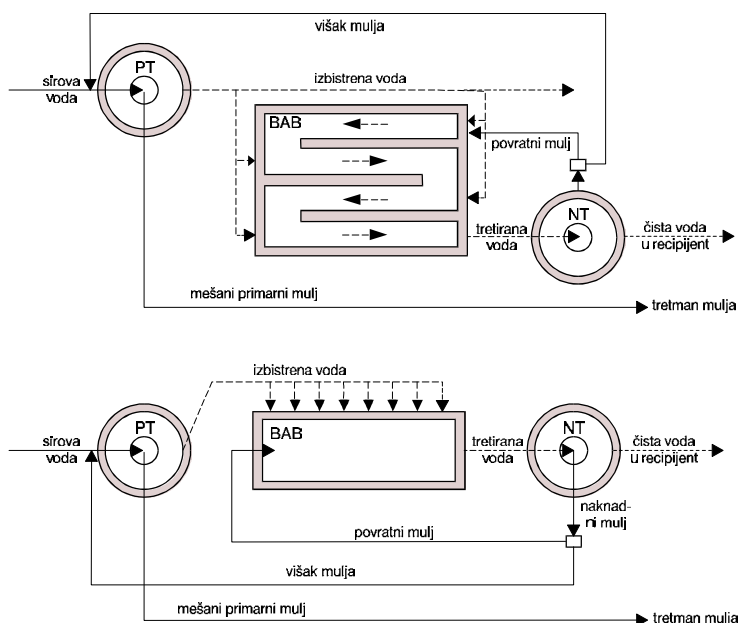
Dodavanje otpadne vode na više mesta duž bazena sa klipnim strujanjem (slika 27), ravnomernija potrošnja kiseonika duž celog bazena, kao i veća efikasnost prenosa i iskorišćenja kiseonika su osnovne karakteristike ovog varijeteta.

Kompletan povratni mulj se dodaje na početku bioaeracionog bazena.

Opterećenje je ravnomernije raspoređeno duž celog bioaeracionog bazena.

Ovaj varijetet bioaeracionog postupka se koristi za promenljiva (udarna) opterećenja u otpadnoj vodi.

Slika 27 - Bioaeracioni bazen sa klipnim strujanjem i stepenastim dodavanjem otpadne vode - dva rešenja dispozicije



Kontaktna stabilizacija (bio-sorpcija)

Proces u navedenom varijetetu (slika 29) se izvodi u dve faze:

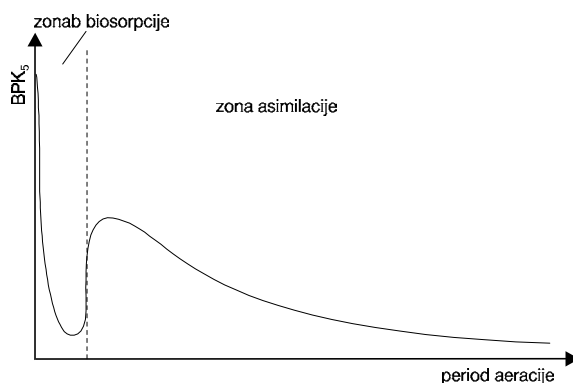
- u prvoj fazi u trajanju od 20-40 min odigrava se adsorpcija sitnih suspendovanih koloidnih čestica u pahulje mulja, čijim se taloženjem znatno smanjuje BPK_5 otpadne vode (slika 28)
- u drugoj fazi u trajanju od 2-4^h se vrši proces asimilacije organskih materija od strane mikroorganizama, što dovodi do povećane potrošnje kiseonika, kao i do stabilizacije organskih materija

Sirova, ili prethodno izbistrena voda se pomeša sa povratnim muljem i odlazi u aerisani bazen za mešanje i sorpcije, gde se zadržava 30-60 min. Aerisana voda sa muljem odlazi na naknadni taložnik, a prečišćena voda se evakuše preko preliva.

Istaloženi mulj odlazi na regeneraciju u trajanju od 3-6 h, gde se vrši stabilizacija organske materije.

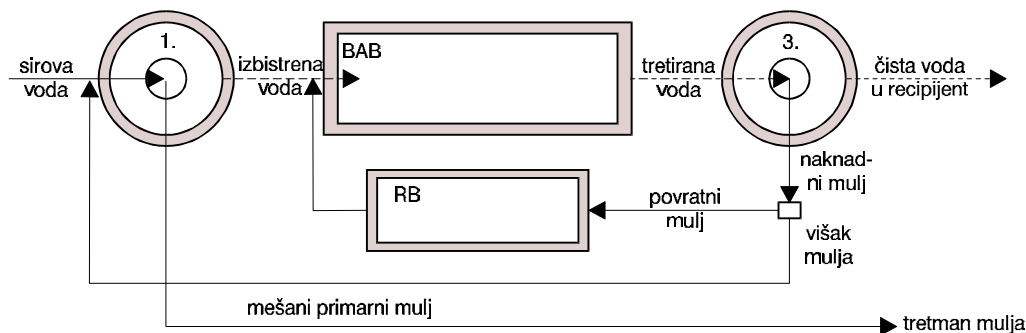
Koncentracija aktivnog mulja u regeneraciji je jako velika i iznosi preko 4 000 mg/l.

Slika 28 - Promena BPK_5 tokom perioda aeracije



Efekat postupka se ogleda u smanjenju potrebne zapremine bazena za aeraciju

Slika 29 - Šema procesa kontaktne stabilizacije



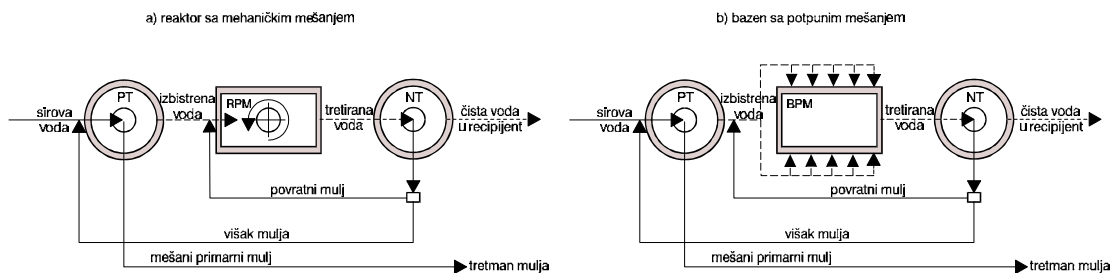
1. Primarna taložnica BAB - bioaeracioni bazen 3. naknadna taložnica RB - regeneracioni bazen

– Postrojenje sa potpunim mešanjem

Kod postrojenja sa potpunim mešanjem u svakom delu zapremine bazena je jednaka koncentracija hrane, kiseonika, aktivnog mulja, što se postiže intenzivnim mešanjem vode u reakcionom bazenu (slika 30a), ili dodavanjem smeše sirove vode i povratnog mulja duž celog bioaeracionog bazena (slika 30b)

Povoljno rešenje za postrojenja sa velikim udarnim opterećenjima u otpadnoj vodi, kao i za postrojenja za biološku obradu industrijskih otpadnih voda.

Slika 30 - Proces sa aktivnim muljem u reaktoru (a) i bazenu (b) sa potpunim mešanjem



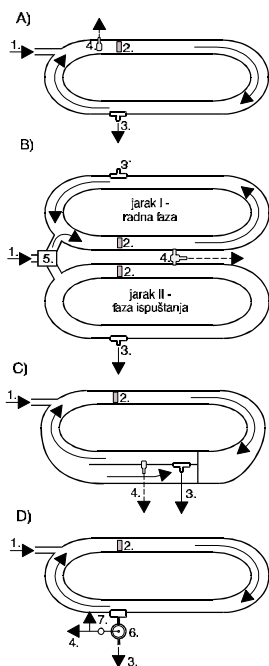
– Produžena aeracija

Produžena aeracija predstavlja varijetet vođenja biološkog postupka kod koga se vođenje procesa sa aktivnim muljem vrši u bioaeracionom bazenu sa klipnim strujanjem u oblasti endogene respiracije mikroorganizama (održavanja metaboličkih funkcija).

Pošto nema značajnijeg uvećavanja mase mikroorganizama, nema ni veće količine povratnog mulja, a takođe nema ni primarne taložnice, pa ni primarnog mulja.

Kompletan mulj, kako primarni mulj, tako i višak aktivnog mulja, se aerobno stabilizuje u bioaeracionom bazenu, pa se ispušta kao istrošeni mulj, zajedno sa tretiranom vodom.

Slika 31 - Oksidacioni jarak - tipovi rešenja



– Oksidacioni jarak

Biološki proces u oksidacionom jarku u svojoj osnovi spada u postupak produžene aeracije. Oksidacioni jarak je prstenasti jarak dubine 1-1.5 m, u koji se kiseonik unosi u vodu mamut rotorom (rotirajućom četkom), postavljenim poprečno na jarak. Strujanje vode u oksidacionom jarku se odvija brzinom 0.3-0.6 m/s.

A) Najprostije rešenje sa intermitentnim radom - četka za površinsku aeraciju (2) se zaustavi da bi se istaložio mulj, pa se preko odvoda vode (3), spuštanjem klapne na prelivu ispusti tretirana voda u recipijent, zatim se ponovo podiže klapna i pokreće četka. Višak mulja se povremeno ispušta preko odvoda mulja (4).

B) Dvojni jarak sa naizmeničnim radom - na kraju dovodnog kanala (1) postavlja se raspodelna komora (5), koja automatski pušta vodu u jedan ili drugi jarak. Automatizovano je i uključivanje četke za aeraciju (2), kao i preliva (3) (na slici je gornji jarak u radu, a iz donjeg jarka se ispušta voda)

- C) Jarak sa naizmeničnim puštanjem vode kroz podeljeni deo - unutrašnji deo rukavca je radni, a spoljni deo služi kao taložnica iz koga se ispušta voda preko preliva (na slici)
- D) Postrojenje sa produženom aeracijom - rad postrojenja je kontunuiran, aeracija je produžena, stabilizacija mulja je simultana, a kao poseban element postoji naknadna taložnica (6). Mulj je u manjoj ili većoj meri stabilizovan, pa nije neophodan uvek tretman mulja. Deo mulja iz naknadne taložnice se vraća u proces kao povratni mulj (7).

– Karusel bazeni

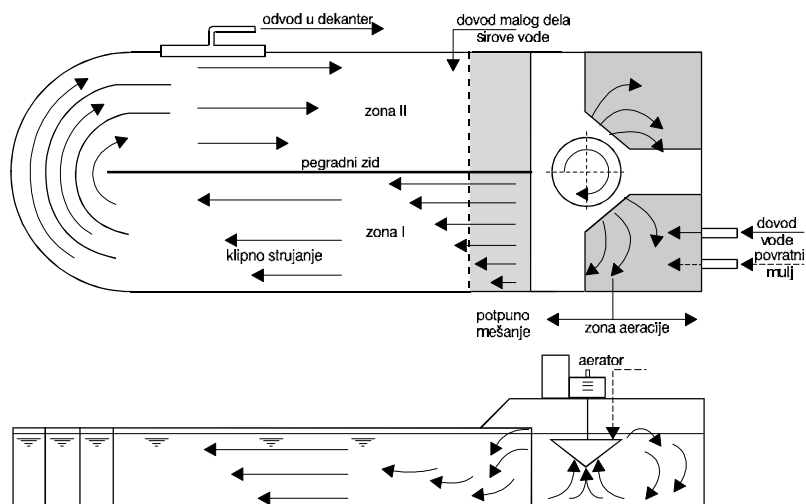
Karusel bazeni predstavljaju razradu principa oksidacionih jaraka, koji daje rešenje za osnovne nedostatke jaraka, veliku radnu površinu zbog primene mamut rotora, koji i ograničavaju dubinu jarka na 1.5 m. Aeracija u karusel bazenima se vrši vertikalnim turbinama, tako da dubina može ići i do 5 m.

Kao i kod oksidacionih jaraka, koncentracija kiseonika se menja od zone bogate kiseonikom u blizini i neposredno nizvodno od aeratora (zona I), do zone siromašne kiseonikom, ili anoksične zone udaljene od aeratora (zona II), čime se mikroorganizmi privikavaju na nizak sadržaj kiseonika, čime se obezbeđuje održavanje sistema i kod udarnih opterećenja u otpadnoj vodi.

U anoksičnoj zoni karusela se odvija denitrifikacija vode, čije se pospešivanje može izvršiti dodavanjem malog dela sirove vode.

Aerisana otpadna voda, posle 20-100 prolaza kroz karusel bazen, odlazi preko preliva u naknadni taložnik.

Slika 32 - Šema postrojenja karusel bazena



– Postrojenja sa čistim kiseonikom

Kod navedenih postrojenja aeracija otpadne vode se vrši čistim kiseonikom.

Postrojenje se sastoji od više pokrivenih komora sa površinskim aeratorima, a primenjuju se turbine za površinsku aeraciju, ili specijalni tipovi mehaničkih aeratora koji obezbeđuju mešanje vode. U prostor iznad vode se uvodi čist kiseonik ili vazduh obogaćen kiseonikom, koji se mora povremeno obnavljati zbog otpuštanja CO₂ iz procesa, a takođe se mora vršiti i korekcija pH, koja zavisi od puferskog kapaciteta vode.

Ravnotežna koncentracija kiseonika u vodi i u atmosferi čistog kiseonika iznosi 43 mg/l, tako da je moguće bez velikog utroška energije održavati konc. kiseonika u vodi od 6-10 mg/l, što omogućava veliku biološku aktivnost.

Mulj je bogat protozoama, ima nizak indeks mulja, brzo se taloži, dobro se zgušnjava, što omogućava veću koncentraciju mulja u aeracionom prostoru.

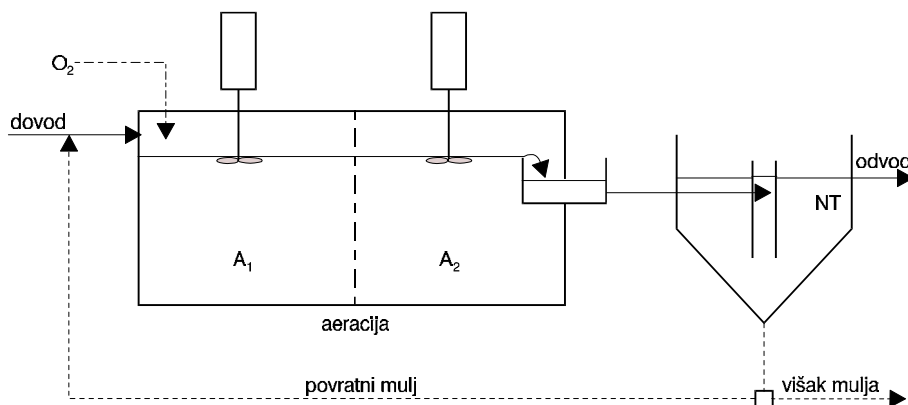
Ukupna efikasnost procesa je približno ista kao kod konvencionalnih postupaka.

Za manja postrojenja kiseonik se donosi u bocama pod pritiskom, a za veća se proizvodi na licu mesta.

Objekti sa čistim kiseonikom su manjih gabarita od konvencionalnih postrojenja, a efikasni su u sledećim situacijama:

- kada je ograničen prostor za postrojenje
- kada su velike promene organskog opterećenja
- kada se prečišćava mešovita industrijska i komunalna otpadna voda sa visokim sadržajem organskih materija

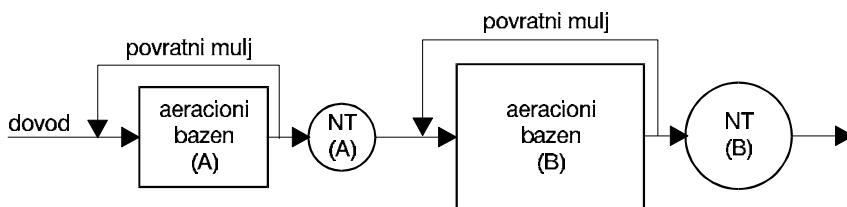
Slika 33 - Šema postrojenja sa čistim kiseonikom



2.5.2.2. Dvostepeni postupak

Dvostepeni postupak (slika 34) se sastoji od dva redno vezana konvencionalna postupka, od kojih prvi radi na visokom opterećenju, a drugi na niskom opterećenju mulja. Karakteriše ga manja zapremina aeracionih bazena u odnosu na jednostepeni konvencionalni postupak.

Slika 34 - Dvostepeni AB konvencionalni postupak



Ovaj postupak se može sastaviti i od kombinacije aeracionih bazena sa biofiltrima.

2.5.3. Opterećenja i dimenzionisanje bioloških procesa**2.5.3.1. - Efikasnost prečišćavanja otpadnih voda**

Efikasnost uklanjanja BPK₅ bioloških procesa data je u tabeli 2.5.6.

Tabela 2.5.6 - Efikasnost uklanjanja BPK₅ bioloških procesa

Tip postupka	Strujanje u bazenu	Aeracioni sistem	Smanjeno BPK ₅ (%)
Konvencionalni postupak	klipno	UV, MA	85-95
Stepenasto dodavanje kiseonika	klipno	UV	85-95
Modifikovana aeracija	klipno	UV	60-75
Visoko opterećeno postrojenje	potp. mešanje	MA	75-90
Stepenasto dodavanje otp. vode	klipno	UV	85-95
Kontaktna stabilizacija	klipno	UV, MA	80-90
Postrojenje sa potpunim mešanjem	potp. mešanje	MA	85-95
Produžena aeracija	potp. mešanje	UV, MA	75-95
Postrojenje sa čistim kiseonikom	potp. mešanje	MA	85-95

UV - uduvavanje vazduha

MA - mehanički aeratori

- Opterećenje mase mulja

Opterećenje mase mulja B_{SM} se računa po formuli:

$$B_{SM} = \frac{BPK_5 \text{ (kg / dan)}}{SM \text{ (kg)}}$$

SM (kg) - suva materija mulja

Podela opterećenja mase mulja data je u tabeli 2.5.7.

Tabela 2.5.7 - Podela opterećenja mase mulja

Opterećenje mulja	kg BPK ₅ / dan-kg SM
Jako opterećenje	> 0.5
Srednje opterećenje	0.2-0.5
Slabo opterećenje	0.07-0.2
Vrlo slabo opterećenje (produžena aeracija)	< 0.07

- Zapreminsko opterećenje mulja

Zapreminsko opterećenje mase mulja B_V se računa po formuli:

$$B_V = \frac{BPK_5 \text{ (kg / dan)}}{V_B \text{ (kg)}}$$

V_B (kg) - suva materija mulja

Podela zapreminskog opterećenje mulja dato je u tabeli 2.5.8.

Tabela 2.5.8 - Podela zapreminskog opterećenje mulja

Opterećenje mulja	kg BPK ₅ /dan·m ³
Jako opterećenje	> 1.5
Srednje opterećenje	0.6-1.5
Slabo opterećenje	0.35-0.6
Vrlo slabo opterećenje (produžena aeracija)	< 0.35

– Zahtevi za kiseonikom

Minimalna količina kiseonika za aerobne procese, potrebna za biorazgradnju organskih materija, endogenu respiraciju mikroorganizama i održavanje aktivnog mulja u suspenziji iznosi 1-2 gO₂/m³.

Rastvoreni kiseonik mikroorganizmi koriste za procese sinteze nove biomase, za oksidaciju organske materije, za endogenu respiraciju i za nitrifikaciju. Sa smanjenjem opterećenja postrojenja raste potrošnja kiseonika za endogenu respiraciju i nitrifikaciju u odnosu na ukupnu potrošnju.

Kod konvencionalnih postrojenja sa opterećenjem mase mulja > 0.3 kg BPK₅/dan·kg SM iznosi 30-35 m³ vazd / kg ukl. BPK₅, a za niža opterećenja ide u granicama 75-115 m³ vazd / kg ukl. BPK₅.

Potrebna dnevna potrošnja kiseonika se računa po formuli:

$$R_{O_2} = a \cdot \frac{PSP}{100} \cdot L_a + k_{re} \cdot SM \cdot V_a + 4L_{NO_x}$$

R_O (kgO₂/dan) - ukupna dnevna potrošnja O₂ koju troše MO

a (gO₂/g BPK₅) ≈ 0.5 - koeficijent potrošnje kiseonika

PSP (%) - potrebna efikasnost prečišćavanja

L_a (kg BPK₅/dan) - ukupno dnevno opterećenje BPK₅ u bazenu

k_{re} (kg O₂/dan·kg SM) = 0.15 - deo za disanje MO

V_a (m³) - zapremina bioaeracionog bazena

L_{NO_x} (kg N/ dan) - dnevno opterećenje oksidabilnim jedinjenjima azota

Kod uređaja za uduvavanje vazduha (UV) unošenje kiseonika zavisi od veličine mehurova (obrnuto proporcionalno), dubine uduvavanja, temperature, sastava otpadne vode (deterdženti smanjuju unos kiseonika).

Kod mehaničkih aeratora (MA) sastav vode nema uticaja na efikasnost zbog turbulencije koja se stvara, ali ovi uređaji izbacuju aerosole u atmosferu.

Tehničke karakteristike nekih tipova aeratora date su u tabeli 2.5.9.

Tabela 2.5.9 - Tehničke karakteristike nekih tipova aeratora

Tip aeratora	$\eta^{(a)}$ (%)	OE (kg O ₂ /kW·h)	
		standardna ^(b)	terenska ^(c)
Uduvanje vazduha			
fini mehurići	10-30	1.2-2.0	0.7-1.4
srednje fini mehurići	6-15	1.0-1.6	0.6-1.0
grubi mehurići	4-8	0.6-1.2	0.3-0.9
Potopljeni turbinski raspršivač	-	1.2-1.4	0.7-1.0
Mehanički aeratori			
površinski (turbinski)	-	1.2-2.4	0.7-1.4
mamut rotori	-	1.2-2.4	0.7-1.3

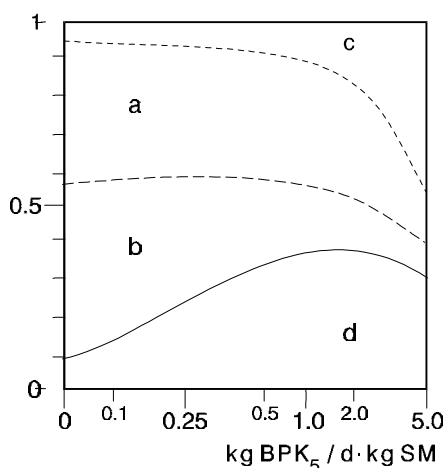
(a) u zavisnosti od dubine vode)od 3-8 m na ispitivanim postrojenjima)

(b) pri T=20°C, p=101,315 kPa, početna konc. O₂ 0 mg/l za čistu vodu

(c) pri T=15°C, na 150 mm, početna konc. O₂ 2 mg/l, za otpadnu vodu

– Stepen prečišćavanja

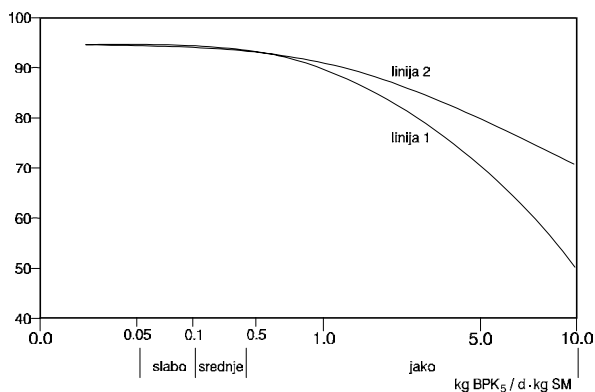
Slika 35 - Digram promene parametara



Dijagram promene parametara prečišćavanja u zavisnosti od opterećenja mase mulja (slika 35), za postrojenja sa manjim opterećenjem mulja od 0.1-0.4 kg BPK₅ / dan·kg SM, prikazuje sledeće parametre:

- preostalog BPK5 (c)
- asimilacije i respiracije (a)
- endogene respiracije (b)
- prinosa biomase (d)

Slika 36 - Faktori efikasnosti procesa



Zavisnost efikasnosti procesa sa aktivnim muljem od temperature i opterećenja mulja data je na slici 36. objekti se grade kao otvoreni, pa je veliki uticaj spoljašnje temperature na efikasnost procesa.

Na grafikonu 36 dat je uticaj temperature na efikasnost postrojenja u zavisnosti od opterećenja za:

- zimske uslove (linija 1) na $t \leq 11^\circ\text{C}$
- letnje uslove (linija 2) na $t \geq 13^\circ\text{C}$

2.5.4. Naknadne taložnice

Naknadne taložnice su prateći uređaji bioaeracionim bazenima u okviru bioloških postupaka.

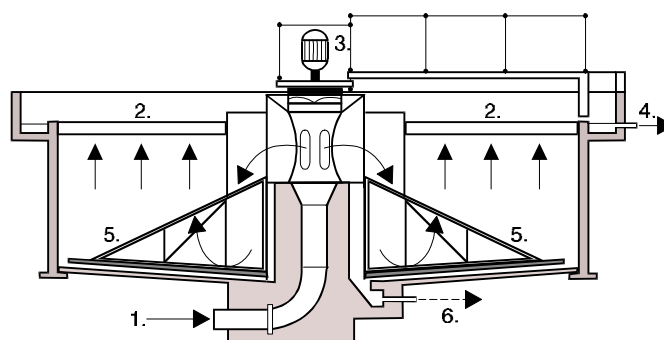
Naknadne taložnice vrše uklanjanje aktivnog mulj iz procesa posle bioaeracionih bazena, bioloških filtera, ili rotacionih biodiskova.

Posle bioaeracionih bazena aktivni mulj se ponaša po zonskoj teoriji taloženja, pa su bolje taložnice sa vertikalnim tokom (kružne) od horizontalnih taložnica (četvorougone).

Najčešće se primenjuju kružne betonske taložnice (slika 37), sa prečnicima od 3-60 m, a najčešće 10-30 m.

Poluprečnik kružne taložnice ne sme biti veći od pet dubina vode.

Slika 37 - Naknadna taložnica



1. dovod zamuljene vode
2. prelivno korito
3. pogonski motor
4. odvod izbistrene vode
5. zgrtalica za mulj
6. odvod mulja

Evakuacija mulja iz naknadne taložnice se vrši centralno muljnom pumpom iz muljne šikane, ka kojoj se mulj usmerava pomoću radialnih zgrtača koji sporo rotiraju.

Kod postupaka kod kojih se vrši recirkulacija povratnog mulja neophodna je njegova brza evakuacija iz taložnice, što se najčešće vrši usisavanjem pomoću muljne pumpe, dislocirane u muljnoj šahti van taložnice.

Tabela 2.5.10 - Tipične vrednosti za dimenzionisanje naknadnih taložnica

Tip prečišćavanja	Površ. opter. (m ³ /dan·m ²)		Opter. muljem (kg/m ² ·h)		Dubina (m)
	prosečno	maksim.	prosečno	maksim.	
Biofilter	14-24	40-48	3.0-5.0	8.0	3.0-4.0
Aktivni mulj	16-32	40-48	3.0-6.0	9.0	3.5-5.0
Produžena aeracija	8-16	24-32	1.0-5.0	7.0	3.5-5.0

2.5.5. Uobičajene vrednosti za dimenzionisanje konvencionalnih postrojenja sa aktivnim muljem

Tabela 2.5.11 - Parametri za dimenzionisanje konvencionalnih postrojenja sa aktivnim muljem (prema ATV - Abwassertechnische Vereinigung - Udruženje za kanalsku tehniku- Nemačka)

Postignuto prečišćavanje (1)	Stabilizacija (prod. aeracija) (2)	Nitrifikacija (3)	Konc. BPK ₅ u efluentu	
			20 mg/l (4)	30 mg/l (5)
DIMENZIONISANJE BAZENA ZA AERACIJU				
Zapreminsko opterećenje B _v (kgBPK ₅ /dan·m ³)	0.25	0.3	1.0	2.0
Maseno opterećenje B _{SM} (kgBPK ₅ /dan·kg SM)	0.05	0.15	0.3	0.6
Hidrauličko opterećenje Q _v (m ³ /dan·m ³)	0.83	2.5	5.0	10.0
Koncentr. mulja u bazenu SM kg SM/m ³)	5	3.3	3.3	3.3
Min. vreme aeracije - suvo vreme	-	4.0	2.0	1.0
kišno vreme	-	2.0	1.0	0.5
Količina povratnog mulja RM (%)	100	100	100	100
Višak mulja/zapr. optereć. VM/B _v	0.8	0.75	0.85	0.9
OC/B _v - u pogonu (kg O ₂ /kg BPK ₅)	2.0	2.0	1.43	0.92
OC/B _v - dimenzion. (kg O ₂ /kg BPK ₅)	2.5	2.5	2.0	1.5
PROZIVODNJA VIŠKA MULJA				
Indeks zapremine mulja IZM (cm ³ /g)	100	150	150	150
Zapremina mulja ZM (l/m ³)	500	500	500	500
Suva materija povratnog mulja SM _{pm} (kg/m ³)	10	6.6	6.6	6.6
Količina povratnog mulja RM (%)	100	100	100	100
Dotok u bazen za aeraciju BD (g/m ³)	300*	200	200	200
Nerastvorene materije u dotoku NR _D (g/m ³)	450**	150**	150**	150**
Nerastvorene materije u izlivu NR _I (g/m ³)	20	20	20	20
Q _v ·0.6·B _D (kg/dan·m ³)	0.15	0.30	0.60	1.20
Q _v ·0.6·NR _D (kg/dan·m ³)	0.22	0.22	0.45	0.90
Q _v ·NR _I (kg/dan·m ³)	0.02	0.05	0.10	0.10
0.33·SM (kg/dan·m ³)	0.15	0.10	0.10	0.10
Proizvodnja viška mulja PVM (kg/dan·m ³)	0.20	0.37	0.85	1.80
Proizvodnja viška mulja po jed. opterećenja PVM/B _v	0.80	0.75	0.85	0.90
Starost mulja SM/PVM (dan)	25	9	4	2
* - bez prethodnog taloženja ** - pretpostavljena vrednost				
DIMENZIONISANJE POSTROJENJA ZA UNOS KISEONIKA				
Hidrauličko opterećenje Q _v (m ³ /dan·m ³)	0.83	2.5	5.0	10.0
Dotok u prethodnu taložnicu PT (g BPK ₅ /m ³)	-	300	300	300
Dotok u bazen za aeraciju BA (g BPK ₅ /m ³)	300	200	200	200
Izlaz iz naknadne taložnice NT (g BPK ₅ /m ³)	12	15	20	30
Stepen prečišćavanja	0.96	0.925	0.90	0.85
Dotok u BA ND (g/m ³): NH ₄	30	30	30	30
org. N	10	10	10	10
NO ₃ ⁻	0	0	0	0

TEHNOLOGIJA I TEHNIKA U OBRADI

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
Izliv iz NT NI (g/m^3): NH_4	3	3	10	21
org. N	0	1	1	2
NO_3^-	2	16	12	5
Denitrifikacija N_D (g/m^3): N_2	27	10	7	2
Višak N_{VM} (g/m^3): org. N	8	10	10	10
Denitrifikacija: $Q_V \cdot 1.7 \cdot N_D$ (kg $\text{O}_2/\text{dan} \cdot \text{m}^3$)	0.04	0.04	0.06	0.03
Ukupna potrošnja O_2 (kg $\text{O}_2/\text{dan} \cdot \text{m}^3$)	0.47	0.79	1.12	1.44
Koncentracija O_2 u BA Cx (g/m^3)	0.5	2.0	2.0	2.0
Koncentracija saturacije Cs (g/m^3)	9.0	9.0	9.0	9.0
Cs-(Cs-Cx)	1.06	1.28	1.28	1.28
OC u pogonu (kg $\text{O}_2/\text{dan} \cdot \text{m}^3$)	0.5	1.01	1.43	1.84
OC/BV (u pogonu) (kg $\text{O}_2/\text{dan} \cdot \text{kg BPK}_5$)	2.0	2.0	1.43	0.92
Faktor sigurnosti	1.25	1.40	1.40	1.60
OC/BV (dimenzion.) (kg $\text{O}_2/\text{dan} \cdot \text{kg BPK}_5$)	2.5	2.5	2.0	1.5
Maksimalna satna srednja vrednost	1:24	1:24	1:24	1:24

Tabela 2.5.12 - Parametri za procesno dimenzionisanje različitih postrojenja sa aktivnim muljem (prema ATV - Abwassertechnische Vereinigung - Udruženje za kanalsku tehniku-Nemačka)

Tip procesa	Starost mulja	Opterećenje mase mulja	Zapreminsko opterećenje	Suva masa mulja MLSS	Vreme zadr. u aer. bazenima	Q_r/Q
	(dan)	$\left(\frac{\text{kgBPK}_5}{\text{kgMLVSS} \cdot \text{dan}}\right)$	($\text{kgBPK}_5/\text{dan} \cdot \text{m}^3$)	(kg/m^3)	(h)	(-)
Konvencionalni	5-15	0.2-0.4	0.3-0.6	1.5-3.0	4-8	0.25-0.50
Stepenasto dodavanje O_2	5-15	0.2-0.4	0.3-0.6	1.5-3.0	4-8	0.25-0.50
Potpuno mešanje	5-15	0.2-0.6	0.8-2.0	3.0-6.0	3-5	0.25-1.0
Stepenasto dodavanje otp. vode	5-15	0.2-0.4	0.6-1.0	2.5-3.5	3-5	0.25-0.75
Modifikovana aeracija	0.2-0.5	1.5-5.0	1.2-2.4	0.2-0.5	1.5-3.0	0.05-0.15
Kontaktna stabilizacija	5-15	0.2-0.6	1.0-1.2	1.0-3.0 ^{a)} 4.0-10.0 ^{b)}	0.5-1.0 ^{a)} 3.0-6.0 ^{b)}	0.25-1.0
Produžena aeracija	20-30	0.05-0.15	0.1-4.0	3.0-6.0	18-36	0.75-1.5
Visoko opterećeno postrojenje	5-10	0.4-1.5	1.6-16	4.0-10.0	0.5-2.0	1.0-5.0
Postrojenje sa čistim kiseonikom	8-20	0.25-1.0	1.6-3.3	6.0-8.0	1-3	0.25-0.50

^{a)} kontaktna jedinica

^{b)} jedinica za stabilizaciju mulja

2.5.6. Postupci tercijarne obrade otpadnih voda

Pojedine materije iz otpadnih voda, kao što su Ca, Na, SO_4^- , NO_3^- , P-jedinjenja, specifična org. jedinjenja i dr., se malo uklanjaju, ili uopšte ne uklanjaju iz otpadnih voda tokom navedenog klasičnog tretmana, primarnom i sekundarnom obradom otpadnih voda.

Uobičajeni zahtevi za tercijarnim prečišćavanjem nad tretiranom otpadnom vodom, a pre upuštanja u recipijent, najčešće su:

- korekcija BPK_5 efluenta
- redukcija hranljivih materija, N i P
- redukcija mikrozagađivača
- redukcija HPK posle biodegradacije

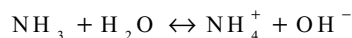
Tabela 2.5.13 - Uobičajeni kvalitet efluenta biološkog prečišćavanja

Proces	Susp. mat. (mg/l)	BPK_5 (mg/l)	HPK (mg/l)	N (mg/l)	PO_4 (mg/l)	Mutnoća (mg/l)	Boja
Aktivni mulj	20-30	15-25	40-80	20-60	6-15	5-15	15-80
Biofilter	20-40	15-35	40-100	20-60	6-15	5-15	15-80

2.5.6.1. Uklanjanje azota

Azot se javlja u otpadnoj vodi kao NH_3 , org. N, nitrit (NO_2^-) i nitrat (NO_3^-).

Amonijak u vodenom rastvoru je u ravnoteži sa amonijum jonom, a ravnotežne koncentracije zavise od pH vode:



U sirovoj komunalnoj vodi skoro celokupan azot je u obliku amonijaka i organskog azota. Deo azota se ukloni taloženjem a deo aktivnošću mikroorganizmima u klasičnom tretmanu otpadne vode.

Amonijak se u recipijentu oksidiše kiseonikom iz vode ($4.57 \text{ g O}_2 / 1 \text{ g NH}_4$), što izaziva pad koncentracije kisonika u prirodnoj vodi, pa je potrebno izvršiti nitrifikaciju amonijaka do nitrata u otpadnoj vodi pre ispuštanja u recipijent. Nitrifikacija se vrši u nisko opterećenim sistemima sa produženom aeracijom kod bioloških postupaka.

Unošenje nitrata u recipijent izaziva eutrofikaciju sa negativnim posledicama, pa je u pojedinim slučajevima potrebno izvršiti i denitrifikaciju nitratnog azota pre upuštanja tretirane vode u recipijent.

Postupci kojima se može ukloniti negativno dejstvo azotnih materija na prirodnu sredinu su:

- desorpcija amonijaka (striping)
- biološka nitrifikacija-denitrifikacija
- hlorisanje preko prelomne tačke

– Desorpcija amonijaka (striping)

Na povećanom pH ravnoteža gas-amonijum jon ide u pravcu gasa, koji se može izdvojiti iz vode (na pH ≈ 11.0 konc. gasa je 98%, a jona $\approx 2\%$), dok je na pH ≈ 7.0 konc. gasa jako mala. Za desorpciju amonijaka se najčešće kao alkalija dodaje kreč, a iza desorpcije amijaka u striping kuli je potrebno uraditi neutralizaciju vode do pH ≈ 7.0 , najbolje uduvavanjem CO_2 gasa.

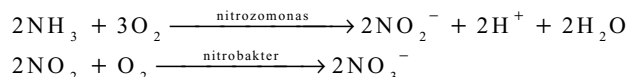
Vazduh iz striping kule se, pre ispuštanja u atmosferu, prečišćava u vlažnim skruberima, da se ne bi amonijak izbacivao u atmosferu.

Pogonski troškovi striping metode su visoki, pa se retko koristi za tretman otpadne vode.

– Nitrifikacija-denitrifikacija azota

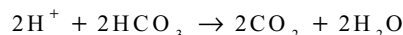
Postupak nitrifikacije-denitrifikacije se sprovodi u dve faze:

I faza - nitrifikacija - azotna jedinjenja se oksidišu kiseonikom iz vode do nitrata.



II faza - denitrifikacija - redukcija nitrata u anaerobnim uslovima do elementarnog azota (N_2), koji se desorpcijom uklanja iz vode.

Kao mikroorganizmi se najčešće koriste Nitrosomonas i Nitrobacter, koji oslobađaju H^+ ion, koji neutrališe alkalnost vode, uz oslobađanje CO_2 gasa:



Na dva mola kiseonika se oksidiše 1 mol amonijaka, smanjuje alkalnost za 1 mol i proizvede 1 mol CO_2 gasa.

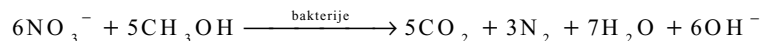
pH se smanjuje tokom procesa po relaciji:

$$\text{pH} = \text{pK} + \log \frac{[\text{HCO}_3^-]}{[\text{CO}_2]}$$

pK - negativni logaritam konstante karbonatne ravnoteže

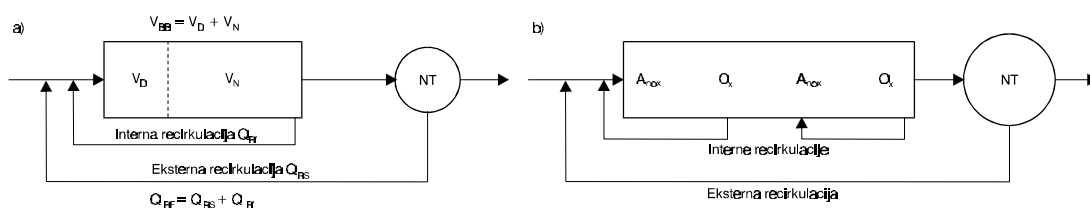
Oslobađanjem CO_2 gasa dolazi do pada pH, pa je neophodno da je proces desorpcije CO_2 veći od procesa adsorpcije O_2 , što najčešće to nije slučaj u praksi, pa pad pH usled CO_2 gasa u vodi inhibira rad Nitrosomonasa i Nitrobacteria, pa je neophodno dodavati kreč radi održanja pH za nitrifikaciju.

U anaerobnim uslovima dolazi do redukcije nitrata radi oslobađanja kiseonika za metabolizam mikroorganizama, pa se vrši postupak denitrifikacije do elementarnog azota. Gasoviti N_2 se lako desorbuje iz vode.



U komunalnim otpadnim vodama nema dovoljno biorazgradljive organske materije za potpuno uklanjanje azota denitrifikacijom, pa se u terciarnom prečišćavanju u procesu denitrifikacije dodaje u vodu etanol, što poskupljuje postupak. Postupak se može voditi u odvojenim bazenima, kao i u jednom bazenu, pri čemu se moraju obezbediti oksična i dezoksična zona. Postupak može biti u jednom stepenu (sl. 38.-a) ili u dva stepena (sl. 38.-b).

Slika 38 - Tipovi bazena za nitrifikaciju-denitrifikaciju u jednom bazenu



V_{BB} - ukupna zapremina bazena sa aktivnim muljem
 V_D - zapremina bazena za denitrifikaciju (anoksična zona - A_{nox})
 V_N - zapremina bazena za nitrifikaciju (oksična zona O_x)

Tabela 2.5.14 - Najmanja starost mulja u danima u postrojenjima

Željeni učinak	Veličina postrojenja	
	do 20 000 ES	do 100 000 ES
Prečišćavanje bez nitrifikacije	5	4
Prečišćavanje sa nitrifikacijom ($t=10\text{ }^{\circ}\text{C}$)	10	8
Prečišćavanje sa nitrifikacijom i denitrifikacijom ($t = 10\text{ }^{\circ}\text{C}$)		
$V_D/V_{BB} = 0.2$	12	10
0.3	13	11
0.4	15	13
0.5	18	16
Prečišćavanje sa nitrifikacijom i denitrifikacijom i stabilizacijom mulja	25	ne reporučuje se

Tabela 2.5.15 -Preporučene vrednosti za dimenzionisanje dela bazena za denitrifikaciju za suvo vreme i prosečne uslove

V_D/V_{BB}	Kapacitet denitrifikacija ($\text{kgNO}_3/\text{kg BPK}_5$)	
	prethodna	simultana
0.2	0.07	0.05
0.3	0.10	0.08
0.4	0.12	0.11
0.5	0.14	0.14

Tabela 2.5.16 - Koncentracija suve materije aktivnog mulja

Željeni učinak	Suva materija u mulju (kg/m^3)	
	prethodno taloženje	bez prethodnog tal.
Bez nitrifikacije	2.5-3.5	3.5-4.5
Sa nitrifikacijom i denitrifikacijom	2.5-3.5	3.5-4.5
Stabilizacija mulja	-	4.0-5.0
Uklanjanje fosfora (simultana precipitacija)	3.5-4.5	4.0-5.0

Ukupna zapremina bazena, za usvojenu razmeru zapremine za denitrifikaciju (V_D) prema ukupnoj zapremini (V_{BB}) iznosi:

$$V_{BB} (m^3) = \frac{B_{d_{BPK_5}}}{B_{SM} \cdot SM_{BB}} = \frac{B_{d_{BPK_5}}}{B_V}$$

SM_{BB} (kgSM/m ³)	- konc. suve materije u bazenu za aeraciju
B_{SM} (kg BPK ₅ /kg SM·dan)	- opterećenje mase mulja
B_V (kg BPK ₅ /m ³ ·dan)	- zapreminsko opterećenje
$B_{d_{BPK_5}}$ (kg BPK ₅ /dan)	- dnevno opterećenje BPK ₅

Tabela 2.5.17 - Minimalna razmera povratnog toka RF

Povratni nitrat (%)	Minimalna zahtevana razmera RF
33	0.5
50	1.0
67	2.0
80	4.0

Sa povećanjem RF postiže se veći stepen denitrifikacije, ali za RF>4.0 se unosi previše kiseonika u deo bazena za denitrifikaciju.

Tabela 2.5.18 - Proizvodnja viška mulja PM (kg SM/kg BPK₅) u zavisnosti od starosti mulja i odnosa SM_0/BPK_5 u ulaznom fluidu

$\frac{SM_0}{BPK_5}$	Starost mulja (dan)					
	4	6	8	10	15	25
0.4	0.74	0.70	0.67	0.64	0.59	0.52
0.6	0.86	0.82	0.79	0.76	0.71	0.64
0.8	0.98	0.94	0.91	0.88	0.83	0.76
1.0	1.10	1.06	1.03	1.00	0.95	0.88
1.2	1.22	1.18	1.15	1.12	1.07	1.00

Tabela 2.5.19 - Specifična potrošnja kiseonika OV_C (kg O₂/kg BPK₅) za razgradnju organskih jedinjenja

T (°C)	Starost mulja (dan)					
	4	6	8	10	15	25
10	0.83	0.95	1.05	1.15	1.30	1.55
12	0.87	1.00	1.10	1.20	1.38	1.60
15	0.94	1.08	1.20	1.30	1.46	1.60
18	1.00	1.17	1.30	1.40	1.54	1.60
20	1.05	1.22	1.35	1.45	1.60	1.60

Tabela 2.5.20 - Faktori udara - f_N (pokriivanje dvočasovnih vrhova u odnosu na 24 satnu srednju vrednost)

	Starost mulja (dan)					
	4	6	8	10	15	25
f_C	1.30	1.25	1.20	1.20	1.15	1.10
f_N za $\leq 20\ 000$ ES	-	-	-	2.5	2.0	1.50
f_N za $> 100\ 000$ ES	-	-	2.0	1.80	1.50	-

Specifična potrošnja kiseonika za oksidaciju azotnih jedinjenja OV_N (kg O_2 /kg BPK_5) se određuje iz izraza:

$$OV_N = \frac{(4.6 \cdot NO_3 - N_e + 1.7 \cdot NO_3 - N_D)}{BPK_5}$$

NO_3-N_e (mg/l ili kg/dan) - sadržaj azota u izlivu - efluentu

NO_3-N_D (mg/l ili kg/dan) - denitrifikacija azota

Specifična unos kiseonika za oksidaciju azotnih jedinjenja O_B (kg O_2 /kg BPK_5) u odnosu na izabranu konc. kiseonika C_x u zoni aeracije iznosi:

$$O_B = \frac{OC}{B_V} = \frac{C_s}{C_s - C_x} (OV_C \cdot f_C + OV_N \cdot f_N)$$

NO_3-N_e (mg/l ili kg/dan) - sadržaj azota u izlivu - efluentu

NO_3-N_D (mg/l ili kg/dan) - denitrifikacija azota

2.5.6.2. Uklanjanje fosfora

Pored azota i fosfor utiče na eutrifikaciju u prirodnim vodama. Fosfor se u otpadnoj vodi nalazi u obliku ortofosfata ($1/3$ P u neprerađenoj otpadnoj vodi), polifosfata ($2/3$ P u neprerađenoj otpadnoj vodi) i organskog P, nerastvoran oko 10% (uklanja se u primarnom taložniku). Mali deo fosfora se uklanja biološkim prečišćavanjem.

Glavni izvor polifosfata u otpadnim vodama su deterdženti.

U efluentu se obično nalazi od 6-15 mgP/l ortofosfata, što može izazvati eutrofikaciju.

Tabela 2.5.21 - Efikasnosti različitih postupaka uklanjanja fosfora

Postupak prečišćavanja	% eliminacije
Konvencionalno prečišćavanje	
Primarno taloženje	10-20
Aktivni mulj	10-25
Biofiltri	8-12
Biodisk	8-12
Samo biološko uklanjanje	
Uklanjanje u glavnom toku	70-90
Uklanjanje u bočnom toku	70-90
Hemijsko uklanjanje	
Precipitacija metalnim solima	70-90
Precipitacija krečom	70-90
Fizičko uklanjanje	
Filtracija	20-50
Reverzna osmoza	90-100
Adsorpcija na aktivnom uglju	10-30

– Hemijska precipitacija

Taloženje fosfora hemijskom reakcijom sa solima metala (Fe, Al) ili krečom na se uobičajeno vrši dva načina:

- simultano taloženje - uvođenje soli teških metala u aktivni mulj, potrošnja soli Fe iznosi $1-1.5 \text{ mgFe/mgPO}_4^{-3}$, sa učinkom eliminacije P od 80-90%
- odvojeno taloženje - flokulacija, dekantacija i flotacija, najekonomičnije sa krečom, na $\text{pH} \approx 11.0$, sa neutralizacijom posle tretmana

Zbog flokulacije taloga fosfata potrebno je odgovarajuće mešanje. Najčešće se kao flokulant koristi $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$.

Tabela 2.5.22 - Redukcija fosfora sa solima Al

Molarni odnos Al:P	% redukcije
1.4:1	75
1.7:1	85
2.3:1	95

Hemijska precipitacija može dostići izlazne rezultate do 1 mgP/l u efluentu. Ako koncentracija fosfora u efluentu treba da bude <1 mgP/l treba kombinovati hemijsku precipitaciju i filtraciju.

Produkcija mulja fosfata se određuje prema relacijama:

$$PVM_p^{Fc} (\text{kgSM} / \text{kgBPK}_5) = 6.8 \frac{P}{\text{BPK}_5}$$

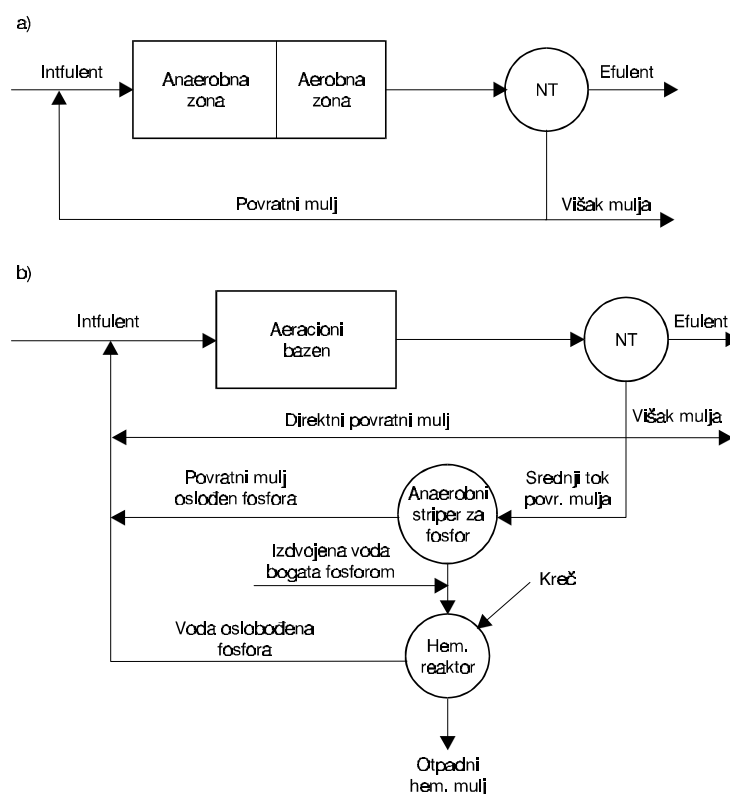
$$PVM_p^{Al} (\text{kgSM} / \text{kgBPK}_5) = 5.3 \frac{P}{\text{BPK}_5}$$

– Biološke metode

Fosfor se biološkim postupcima uklanja ugradnjom navednih fosfornih jedinjenja u novu biomasu, sa sadržajem u ćeliji 3 do 7 puta manje od sadržaja azota. Uklanjanje fosfora u sekundarnom tretmanu biološkim prečišćavanju iznosi 10-25%.

Poboljšavanje efekta vezivanja fosfora u biomasu se vrši anaerobnim šokovima aerobnim mikroorganizama, kada vezuju fosfor iznad potrebnog nivoa, pa se vrši naizmenično izlaganje mikroorganizama aerobnim i anaerobnim uslovima. Postupak se može voditi u glavnom toku (slika 39-a), ili u bočnom toku povratnog mulja (slika 39-b).

Slika 39 - Biološki postupci uklanjanja fosfora



U postupku u glavnom toku višak fosfora se eliminiše većom produkcijom mulja. U postupku u bočnom toku višak fosfora se izdvaja u anaerobnom striperu za fosfor, pa se mulj bez fosfora vraća u glavni proces.

U anaerobnom striperu se vrši rastvaranje fosfora iz mulja. U hemijskom reaktoru se vrši precipitacija fosfora iz otpadne vode iz anaerobnog stripera krečom. Hemijski mulj iz reaktora se oceduje i evakuše na deponiju.

U postupku a) se u anaerobnom reaktoru obavlja vezivanje fosfora u novu biomasu i denitrifikacija, a u postupku b) nitrifikacija i uklanjanje BPK₅.

Tabela 2.5.23 - Vrednosti za projektovanje bioloških procesa za uklanjanje fosfora

Parametar	Jedinica	Proces a)	Proces b)
Opterećenje mase mulja	kgBPK ₅ /kgMLVSS·d	0.2-0.7	0.1-0.5
Starost mulja	dan	2-25	10-30
Konc SM mulja (MLSS)	g/l	2-4	0.6-5.0
Hidrauličko vreme zadržavanja			
Anaerobna zona	h	0.5-1.5	8-12
Aerobna zona	h	1-3	4-10
Povratni mulj	%	25-40	20-50
Unutrašnja recirkulacija	%	-	10-20

- Filtracija

Filtracija kao postupak u tretmanu otpadnih voda daje dobre rezultate po pitanju uklanjanja suspendovanih materija, BPK₅ i mutnoću uklanja dobro, dok HPK, boje, azot i fosfor uklanja manje efikasno (tabela 2.5.24).

Filtracija se u tehnološkoj šemi postavlja iza naknadnog taložnika, odnosno iza biološkog tretmana. Najčešće se koristi u kombinaciji sa drugim postupcima.

U postupcima za uklanjanje azota i fosfora prethodni postupci joj mogu biti flokulacija i taloženje.

Tabela 2.5.24 - Efikasnost postupka filtracije u tercijarnoj obradi

Prethodni tretman	Dodatni tretman	Uobičajeni kvalitet efluenta						
		Sus. mat. mg/l	BPK ₅ mg/l	HPK mg/l	Azot mgN/l	PO ₄ mgP/l	mutn. mg/l	boja °Pt
Aktivni mulj	bez	20-30	15-25	40-80	20-60	6-15	5-15	15-80
	filtacija	<5-10	<5-10	30-70	15-35	4-12	0.3-5	15-60
Biofilter	bez	20-40	15-35	40-100	20-60	6-15	5-15	15-80
	filtracija	10-20	10-20	30-70	15-35	6-15	<10	15-60

Podela filtera:

- **jednoslojni peščani filtri** - efektivni prečnik zrna je 0.6-0.8 mm, brzina filtracije <math><14 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}</math>, zamuljuju se brzo i imaju kratak radni ciklus
- **jednoslojni peščani filtri sa grubim peskom, ili filtri sa grubim antracitom** - debljina ispune do 2 m, materijal ispune uniformne granulacije, za pesak 2-3 mm, za antracit 2-4 mm, brzina filtracije $4.8-24 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$, ostvaruju dobre rezultate, problem velika brzina ispiranja
- **jednoslojni filtri a ispiranjem vodom i vazduhom** - debljina ispune oko 0.9 m, efektivni prečnik zrna 0.8-2.0 mm, koef. uniformnosti 1.3-1.8, brzina filtracije $4.8-24 \text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$
- **dvoslojni filtri** - od antracita i peska, ili aktivnog uglja i peska

Tabela 2.5.25 - Tipični projektni parametri dvoslojnih filtera antracit-pesak

Veličina	Vrednost	
	Opseg	Tipična
Antracit		
Debljina sloja (mm)	300-600	450
Efektivni prečnik (mm)	0.8-2.0	1.2
Koeficijent uniformnosti	1.3-1.8	1.6
Pesak		
Debljina sloja (mm)	150-300	300
Efektivni prečnik (mm)	0.4-0.8	0.55
Koeficijent uniformnosti	1.2-1.6	1.5
Brzina filtracije (m ³ /m ² ·h)	4.8-24	12

Tabela 2.5.26 - Brzina pranja jednoslojnih filtera

Materijal	Efektivni prečnik (mm)	Koeficijent uniformnosti (-)	Brzina pranja	
			vodom (m ³ /m ² ·h)	vazduhom (m ³ /m ² ·h)
Pesak	1.00	1.40	25	36-72
	1.49	1.40	37	36-72
	0.19	1.30	49	36-72
Antracit	1.10	1.73	17	36-72
	1.34	1.49	25	36-72
	2.00	1.53	37	36-72

2.5.6.3. Dezinfekcija efluenta

Do sada navedeni postupci tretmana otpadnih voda ne uklanjaju sve patogene mikroorganizme iz efluenta.

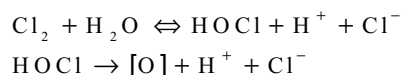
Sl glasnik SR Srbije, br. 5/68, Uredba o klasifikaciji voda zahtevaju da koncentracija koliformnih bakterija u recipijentu posle mešanja sa efluentom bude < 200 u 100 ml za I klasu, odnosno < 6 000 u 100 ml za II klasu vodotoka.

- Dezinfekcija sa Cl₂, NaOCl, Ca(OCl)₂

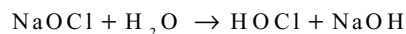
Gasoviti hlor se drži u bocama i dozira iz boca ekspanzijom gasa, zavisno od protoka efluenta.

Hipohlorit i kaporit se doziraju u obliku rastvora, a kaporit se može dodavati i u prahu u efluent za dezinfekciju.

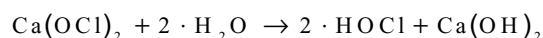
Reakcija rastvaranja hlora u vodi se prikazuje sledećom jednačinom:



Hidroliza hipohlorita se vrši po jednačini:

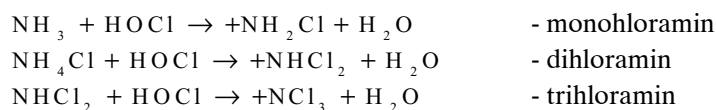


Hidroliza kaporita se vrši po jednačini:



Oslobodena hipohlorasta kiselina reaguje i sa organskim materijama iz vode i obrazuje nepoželjna jedinjenja - hlorfenole, trihalometane itd.

Hipohlorasta kiselina sa amonijakom gradi tri vrste hloramina prema jednačinama:

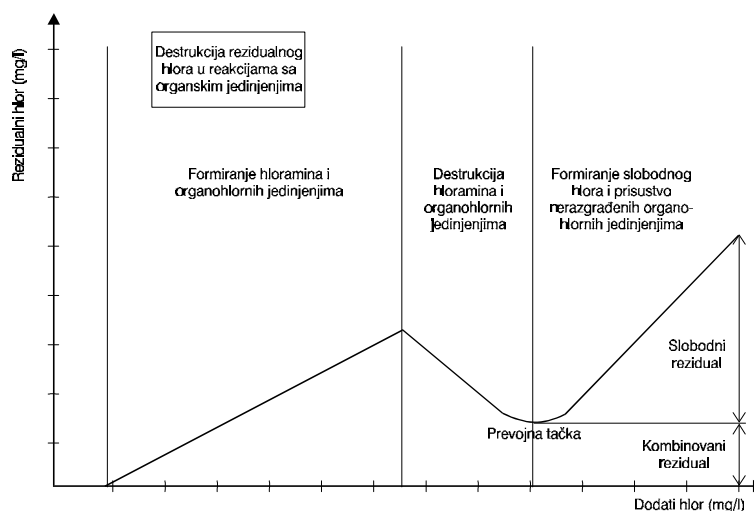


Mono i dihloramini su dezinfekciona sredstva, a dihloramini je nestabilan, razlaže se sa gasovitim hlorom, a krajnji rezultat je rezidual slobodnog hlora i gasoviti azot.

Tabela 2.5.27 - Tipične doze hlora pri dezinfekciji otpadne vode

Stanje otpadne vode	Jedinica	Doza hlora
Sirova otpadna voda	mg/l	6-25
Primarno prečišćena otp. voda	mg/l	5-20
Efluent posle hemijske precipitacije	mg/l	2-6
Efluent posle biofiltera	mg/l	3-15
Efluent posle aktivnog uglja	mg/l	2-8
Efluent posle filtracije (III stepen)	mg/l	1-5

Slika 40 - Hlorisanje preko prevojnja tačke

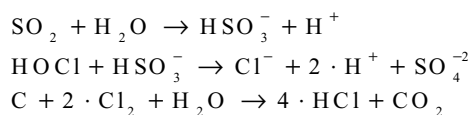


Osnovno doziranje dezinfekcionih sredstava je u bazenima za dezinfekciju. Doziranje hlora se još može vršiti i u odvodnu cev efluenta preko šahte, direktno u evakuacioni kanal za efluent, kao i na prelivu, prilikom nitrifikacije-denitrifikacije i slično.

Vreme reakcije dezinfekcije hlorom iznosi oko 30 min. Strujanje kroz kontakti bazen za dezinfekciju je klipno.

Određene klase voda su ograničene po pitanju sadržaja hlora, tako da se za dezinfekciju efluenta u tim uslovima mora predvideti i uklanjanje viška hlora - dehlorisanje efluenta.

Uklanjanje viška hlora iz efluenta najefikasnije se može vršiti sa gasovitim SO_2 i aktivnim ugljem u prahu po reakcijama:



Slične su reakcije dehlorisanja sa hloraminima.

Osim hlorom i hlornim derivatima, dezinfekcija se može vršiti i:

- hlordioksidom - iz rastvora NaClO_2 i HCl , odnosno Cl_2 , dehlorisanje sa SO_2 , pravi se na licu mesta, relativno skupo
- ozonom - nestabilan gas, pravi se na licu mesta, nema rezidual, difuzija u kontaktnom bazenu, dubina kontaktnog bazena > 4 m
- UV radijacijom - dezinfekcija u kanalu sa filmom efluenta, nema reziduala

2.5.7. Tretman otpadnog mulja

2.5.7.1. Karakteristike otpadnog mulja

Problemi koji se javljaju u vezi sa evakuacijom viška mulja iz postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda se svode na sledeće:

- otpadni mulj ima veliku zapreminu usled velikog sadržaja vode u izdvojenom mulju
- otpadni mulj je biološki aktivan usled sadržaja organskih materija podložnih truljenju u izdvojenom mulju
- otpadni mulj sadrži patogene i druge klice

Stoga obrada otpadnog mulja mora da sadrži sledeće postupke:

- smanjivanje zapremine mulja (ugušćavanje i dehidracija)
- stabilizacija mulja (inaktivacija i dezinfekcija)

– Količine i osobine mulja

U postupku obrade komunalnih otpadnih voda nastaju:

- **mulj iz peskolova** - hemijski inertan neorganski materijal koji se može evakuisati na industrijsku ili sanitarnu deponiju
- **masti i ulja** - iz hvatača masti se mogu tretirati zajedno sa organskim muljem, deponovati na industrijskoj ili sanitarnoj deponiji, ili koristiti kao sirovine u hemijskoj industriji
- **primarni mulj** - organski mulj koji se mora stabilizovati fizički, hemijski i biološki, kao i dezinfikovati pre konačnog odlaganja
- **izreagovani aktivni mulj** - mora se stabilizovati i to fizički, ako je inaktiviran (aerobno stabilizovan u procesu sa produženom aeracijom), ili biološki, hemijski i fizički stabilizovati ako je aktivan
- **hemijski mulj iz precipitacije** - podleže dekompoziciji i truljenju pa se mora tretirati kao i primarni mulj
- **industrijski mulj** - tretira se specifičnim postupcima, zavisno od tipa industrije, pa ga zato treba odvojeno tretirati od komunalnog mulja, tako da industrijsku otpadnu vodu treba upuštati u gradsku kanalizaciju separisanu od sedimenta

Voda u izdvojenom mulju može biti dvojako vezana:

- slobodna voda, koja se može eliminisati dekantovanjem
- kapilarna voda, vezana voda koja se može eliminisati sušenjem i sličnim hemijskim i termičkim postupcima, vezana mahom za koloidne materije a delimično i za voluminozan jonski talog

Koagulacijom koloida i hemijskom stabilizacijom jonskog taloga (dehidracijom) se smanjuje vezana voda u mulju.

Tabela 2.5.28 - Specifične količine mulja u prečišćavanju komunalnih otpadnih voda

Vrsta mulja	q_g (gSM/ES·d)	q_v (l/ES·d)
Primarni mulj	54	2.16
Izreagovali aktivni mulj posle biofiltra	20	0.40
Višak aktivnog mulja	25	1.25
Kombinovani mulj (primarni+višak)	79	1.75
Aerobno stabilizovan aktivni mulj	50	1.70
Istruleli mulj	52	0.52

– **Osnovni postupci prerade mulja**

Osnovni postupci obrade i konačno odlaganje mulja su prikazani sumarno u tabeli 43.

Tabela 2.5.29 - Osnovni postupci obrade i konačno odlaganje mulja

Postupak obrade	Funkcija obrade
Prethodne operacije	
Mlevenje mulja	Smanjivanje čestice
Separacija peska	Uklanjanje inertnog taloga
Mešanje mulja	Homogenizacija
Skladištenje mulja	Skladištenje
Zgušnjavanje	
Gravitaciono zgušnjavanje	Redukcija zapremine
Flotaciono zgušnjavanje	Redukcija zapremine
Centrifugiranje	Redukcija zapremine
Gravitacioni trakasti filter	Redukcija zapremine
Stabilizacija	
Stabilizacija krečom	Stabilizacija
Termička stabilizacija	Stabilizacija
Anaerobna digestija	Stabilizacija i smanjenje mase
Aerobna digestija	Stabilizacija i smanjenje mase
Kompostiranje	Stabilizacija i iskorišćenje mase
Vertikalni reaktor (duboki bunar)	Stabilizacija i redukcija zapremine
Kondicioniranje	
Hemijsko kondicioniranje	Kondicioniranje mulja
Termičko kondicioniranje	Kondicioniranje mulja
Dezinfekcija	
Pasterizacija	Dezinfekcija
Dugotrajno skladištenje	Dezinfekcija
Odvajanje vode	
Vakuum filtri	Oceđivanje
Postupak obrade	Funkcija obrade
Centrifugiranje	Oceđivanje
Trakasta filter presa	Oceđivanje
Filter presa	Oceđivanje
Polja za sušenje mulja	Oceđivanje i sušenje
Lagune	Oceđivanje i odlaganje

Nastavak tabele 2.5.29

(1)	(2)
Termičko sušenje	Sušenje i smanjivanje mase
Termička redukcija	
Spaljivanja	redukcija zapremine i mase
Oksidacija vlažnim vazduhom	redukcija zapremine i stabilizacija
Konačno odlaganje	
Prekrivanje tla	Konačno odlaganje
Distribucija	Komercijalno korišćenje
Hemijska fiksacija	Konačno odlag. i komerc. korišćenje
Deponovanje	Konačno odlaganje
Lagune	Redukcija zapr. i konačno odlag.

Tipične fizičke karakteristike i količine mulja iz različitih procesa su prikazane sumarno u tabeli 2.5.30.

Tabela 2.5.30. Tipične fizičke karakteristike i količine mulja iz različitih procesa

Tretman	ρ čestica mulja (t/m ³)	ρ mulja (t/m ³)	Suva materija (kg/10 ³ m ³ otp.vode)	
			opseg	tipično
Primarno taloženje	1.40	1.020	110-170	150
Aktivni mulj	1.25	1.005	70-100	85
Biofilter	1.45	1.025	55-90	70
Produžena aeracija	1.30	1.015	80-120	100
Aerisana laguna	1.30	1.010	80-120	100
Filtracija	1.20	1.005	10-25	15
Uklanjanje algi	1.20	1.005	10-25	15
Precipitacija fosfora u prim. talož.				
doza kreča 350-500 mg/l	1.90	1.040	250-400	300
doza kreča 600-800 mg/l	2.20	1.050	600-1 280	800
Nitrifikacija (aktivni mulj)	-	-	-	-
Denitrifikacija (aktivni mulj)	1.20	1.005	10-30	16

Očekivana koncentracija suve materije (SM) mulja posle različitih tretmana vode i mulja, prikazana je sumarno u tabeli 2.5.31.

Tabela 2.5.31 - Očekivana koncentracija suve materije (SM) mulja

Primenjeni proces u tretmanu	Sadržaj SM u %	
	opseg	tipično
Primarna taložnica		
Primarni mulj	4-10	5
Kombinovani mulj (primarni + višak aktivnog mulja)	3-8	4
Kombinovani mulj (primarni+ biofilterski mulj)	4-10	5
Primarni mulj+soli Fe za precipitaciju fosfora	0.5-3	2
Primarni mulj+niža doza kreča za precipitaciju fosfora	2-8	4
Primarni mulj+viša doza kreča za precipitaciju fosfora	4-16	10
Plivajućiu mulj	3-10	5
Sekundarna taložnica		
Višak aktivnog mulja		
Sa primarnim taložnikom	0.5-1.5	0.8
Bez primarnog taložnika	0.8-2.5	1.3
Višak mulja posle aeracije čistim kiseonikom		
Sa primarnom taložnicom	1.3-3.0	2.0
Bez primarne taložnice	1.5-4.0	2.5
Mulj posle biofiltera	1.0-3.0	1.5
Gravitacioni zgušnjivač		
Samo primarni mulj	5-10	8
Primarni i višak aktivnog mulja	2-8	4
Primarni i mulj posle biofiltera	4-9	5
Zgušnjivač sa flotacijom rastvorenim vazduhom		
Samo višak aktivnog mulja		
Sa dodavanjem hemikalija	4-6	5
Bez dodavanja hemikalija	3-5	4
Zgušnjavanje centrifugiranjem		
Samo višak aktivnog mulja	4-8	5
Anaerobni digestor		
Samo primarni mulj	5-10	7
Primarni+višak aktivnog mulja	2.5-7	3.5
Primarni+mulj posle biofiltra	3-8	4
Aerobni digestor		
Samo primarni mulj	2.5-7	3.5
Primarni+višak aktivnog mulja	1.5-4	2.5
Samo višak aktivnog mulja	0.8-2.5	1.3

Hranljiva vrednost mulja za poljoprivredu, bazirana na sadržaju nutrijenata (azota, fosfora i kalijuma), je osnova za primenu stabilizovanog mulja u poljoprivredi. Ovu primenu mulja otežavaju prisutni teški metali u mulju. Tipični sadržaj teških metala u mulju dat je u tabeli 2.5.32.

Tabela 2.5.32 - Tipični sadržaj teških metala u mulju

Metal	mg/kg suvog mulja		Metal	mg/kg suvog mulja	
	opseg	tipično		opseg	tipično
Arsen	1.1-230	10	Živa	0.6-56	6
Kadmijum	1-3 410	10	Molibden	0.1-214	4
Hrom	10-99 000	500	Nikal	2-5 300	80
Kobalt	11.3-2 490	30	Selen	1.7-17.2	5
Bakar	84-17 000	800	Kalaj	2.6-329	14
Gvožđe	1 000-154 000	17 000	Cink	101-49 000	1 700
Mangan	32-9 870	260	Olovo	13-26 000	500

Poređenje količine nutrijenata u klasičnom đubrivu i mulju dato je sumarno u tabeli 2.5.33.

Tabela 2.5.33 - Poređenje količine nutrijenata u klasičnom đubrivu i mulju

	Nutrijenti (%)		
	azot	fosfor	kalijum
Tipično đubrivo u poljoprivredi	5	10	10
Tipične vrednosti stabilizovanog mulja	3.3	2.3	0.3

Tipičan hemijski sastav mulja dat je u tabeli 2.5.44.

Tabela 2.5.44 - Tipičan hemijski sastav mulja

Osobina	Sirovi primarni mulj		Mulj posle digestije		Aktivni mulj
	opseg	tipično	opseg	tipično	
Koncentracija SM (%)	2-8	5	6-12	10	0.83-1.16
Volatilne materije (%SM)	60-80	65	30-60	40	59-88
Masti i ulja rastv. u etru (%SM)	6-30	-	5-20	18	5-12
Protein (%SM)	20-30	25	15-20	18	32-41
Azot (%SM)	1.5-4	2.5	1.6-6	3	2.4-5
Fosfor (P ₂ O ₅ u %SM)	0.8-2.8	1.6	1.5-4	2.5	2.8-11
Kalijum (K ₂ O u %SM)	0-1	0.4	0-3	1	0.5-0.7
Celuloza (%SM)	8-15	10	8-15	10	-
Gvožđe (ne kao sulfis) (mg/l)	2-4	2.5	3-8	4	-
Silicijum (SiO ₂ u %SM)	15-20	-	10-20	-	-
pH	5-8	6	6.5-7.5	7	6.5-8
Alkalnost (mg/l kao CaCO ₃)	500-1 000	600	2 500-3 500	3 000	580-1 100
Org. kiseline (mg/l kao HAc)	200-2 000	500	100-600	200	1 100-1 700
Energetski sadržaj (MJ/kg)	23-29	25.5 ^{a)}	6-14	9 ^{b)}	18-23

^{a)} - zasnovano na 65% volatilnih materija

^{b)} - zasnovano na 40% volatilnih materija

2.5.7.2. Tehnologije obrade mulja

Kondicioniranje mulja

Pod kondicioniranjem mulja podrazumevamo promenu gel strukture mulja u poroznu manje hidratisanu strukturu. Prema načinu izvođenja kondicioniranje mulja može biti:

- hemijsko kondicioniranje - kondicioniranje hemijskim koagulantima, flokulacija, elutracija, oksidacija hlorom ili ozonom
- fizičko kondicioniranje - termičko kondicioniranje, dodavanje inertnih materija, ispiranje i dr.

Zgušnjavanje mulja

Zgušnjavanje mulja, odnosno povećavanje koncentracije suvih materija u mulju, može se vršiti na dva načina:

- gravitaciono zgušnjavanje - statička sedimentacija i dekantovanje
- flotaciono zgušnjavanje - uduvavanje vazduha, vakuum, rastvaranje vazduha i dr.

Dehidratacija mulja

Dehidratacija mulja je operacija kojom se vrši evakuacija vode iz strukture mulja. Dehidratacija mulja se u osnovi može vršiti na dva osnovna načina:

- prirodna dehidratacija - gravitaciono ocedivanje i prirodno sušenje vazduhom na poljima za mulj i u lagunama
- mehanička dehidratacija - statička dehidratacija filtracijom (vakuum i potisna), dinamička dehidratacija centrifugiranjem i dr.

Stabilizacija mulja

Stabilizacija mulja se može izvršiti na više načina:

- anaerobno truljenje - vrenje u anaerobnim uslovima u reaktorima-digestorima
- aerobna stabilizacija - aerobni tretman mulja u postupcima produžene aeracije mulja
- kompostiranje - prevođenje mulja u kompost
- gasifikacija - prerada mulja do biogasa
- spaljivanje - spaljivanje mulja u specijalno konstruisanim pećima

Dezinfekcija mulja:

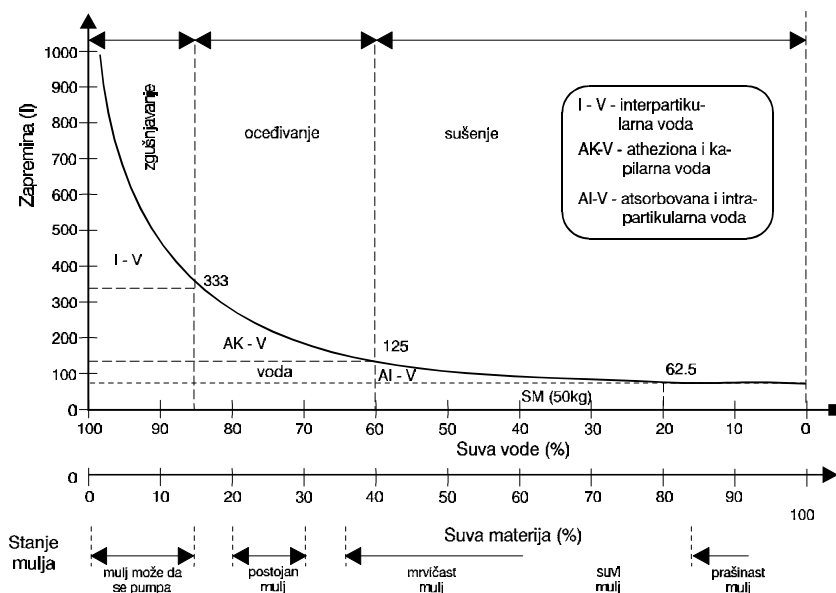
Dezinfekcija mulja se može izvršiti na više načina:

- pasterizacija - termički tretman mulja u pasterizatorima
- zračenje γ -zracima - tretman mulja zračenjem
- hemijski postupci - tretman mulja ćelijskim otrovima

2.5.7.3. Tehnika u obradi mulja

Na slici 41 su u obliku dijagrama prikazani postupci za redukciju zapremine mulja.

Slika 41 - Postupci za redukciju zapremine mulja



– Dehidracija mulja

Dehidracija mulja ima zadatak da odvoji vodu od mulja čime će se mulju smanjiti zapremina i izvršice se koncentrovanje mulja (ugušćivanje mulja).

U okviru postupka dehidracije mulja predviđene su sledeće operacije:

- zgušnjavanje mulja
- odvajanje vode od ugušćenog mulja
- sušenje mulja

Zgušnjavanje mulja

Gravitacioni ugušćivač mulja

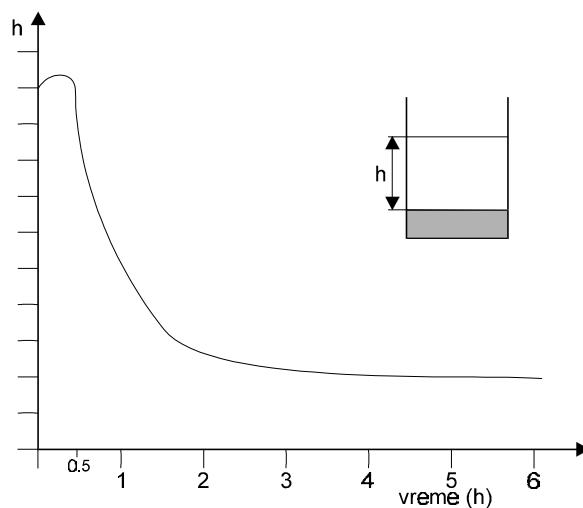
Parametri zgušnjavanja mulja su dati u tabeli 2.5.45.

Tabela 2.5.45 - Parametri zgušnjavanja mulja

Vrsta mulja	Spec. opterećenje (kgSM/m ² ·dan)	Moguća konc. (gSM/l)
sveži primarni	80-120	100
primarni + aktivni	50-70	80
čisti aktivni	25-30	25-30
mulj od dekarbonizacije	400	200
mulj od flokulacije sa Me(OH) _x	10-15	30-40

Vremenski dijagram gravitacionog zgušnjavanja mulja u muljnom ugušćivaču dat je na slici 35, a šema gravitacionog ugušćivača mulja data je na slici 42.

Slika 42 - Kriva zgušnjavanja mulja



Gravitacioni ugušćivači mulja su uređaji slični taložnicama (slika 43), sa snažnijom mehanikom zgrtanja mulja, koji po konstrukciji mogu biti statički i mehanički, dekanteri, dubine 3-6 m.

Tipične vrednosti hidrauličkog površinskog opterećenja muljnih ugušćivača se kreću u opsegu od 16-36 m³/m² na dan.

Vreme zadržavanja mulja u muljnim ugušćivačima se ograničava do 24^h, zbog mogućnosti truljenja mulja.

Slika 36 - Gravitacioni mehanički ugušćivač mulja

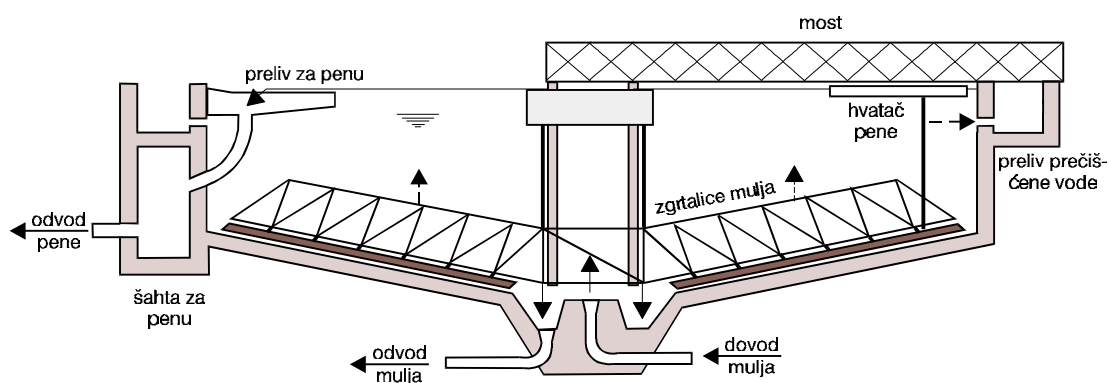


Tabela 2.5.46 - Površinsko opterećenje suvom materijom gravitacionih ugušćivača

Vrsta mulja	Površinsko opterećenje SM (kgSM/m ² ·d)
Pojedinačno zgušnjavanje	
Primarni mulj	100-150
Mulj posle biofiltera	40-50
Mulj posle biodiska	40-50
Aerobni aktivni mulj	12-40
Aktivni mulj posle aeracije čistim kiseonikom	12-40
Aktivni mulj dobijen produženom aeracijom	25-40
Anaerobno istruleo aktivni mulj iz primarnog digestora	125
Kombinovano zgušnjavanje	
Primarni mulj posle biofiltera	60-100
Primarni mulj posle biodiska	50-80
Primarni i aerobni aktivni mulj	40-80
Višak aktivnog mulja i mulj posle biofiltera	12-40
Anaerobno istruleo primarni i višak aktivnog mulja	70
Termički kondicionirani mulj	
Primarni mulj	200-250
Primarni i višak aktivnog mulja	140-200
Višak aktivnog mulja	100-140

Flotacioni ugušćivač mulja

Flotaciono zgušnjavanje mulja se može vršiti rastvorenim vazduhom, vakuum flotacijom, kao i flotacijom sa uduvavanjem vazduha (slika 44).

Flokulisani mulj se lakše ugušćava flotacijom, nego taloženjem, posebno kod postupaka ugušćavanja viška izreagovalog aktivnog mulja.

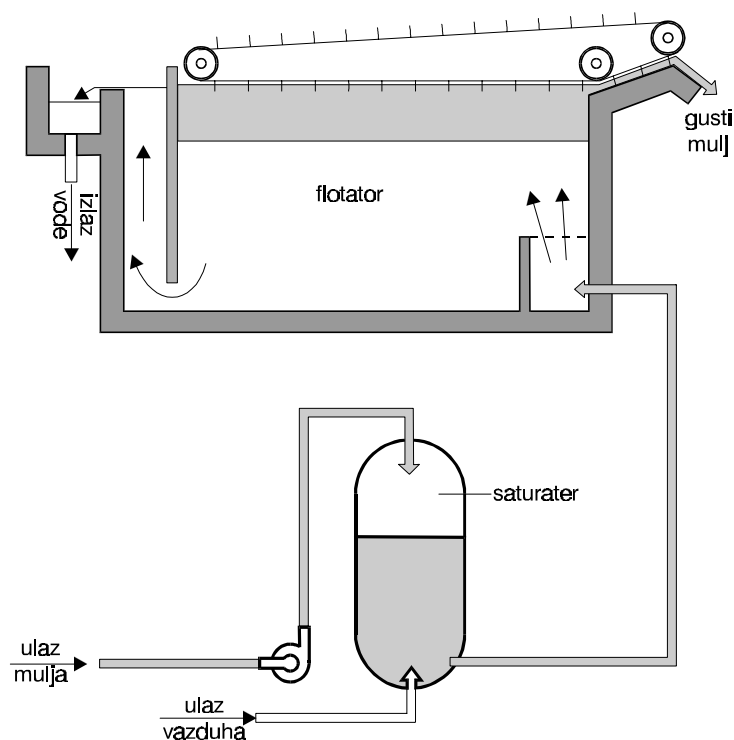
Najčešće se pri zgušnjavanju mulja vrši flotacija mulja rastvorenim vazduhom, na nad pritisku od 2.75-3.5 bara. Vreme zadržavanja mulja u flotacionom ugušćivaču iznosi nekoliko minuta. Uklanjanje mulja iz flotacionog ugušćivača se vrši skidanjem muljnog sloja sa površine uređaja.

Karakteristični parametri za dimenzionisanje uređaja za flotaciju za ugušćavanje mulja su uobičajeno:

- specifično opterećenje 5-10 kgSM/m²·h
- zapreminsko opterećenje 1-3 m³/m²·h
- koncentracija flotacionog mulja:
 - * aktivni mulj 30-50 g/l
 - * primarni + aktivni mulj 50-70 g/l
- debljina sloja flotacionog mulja 20-50 cm
- gustina flotacionog mulja 0.75-0.9 kg/l
- potrošnja vazduha za flotaciju 1.2-3.6 Nm³/m²·h

Uređaj za flotaciono zgušnjavanje mulja se postavlja u zatvorenoj zgradi koja se može zagrevati u zimskim uslovima.

Slika 44 - Flotacioni ugušćivač mulja



Efikasnost flotacionog zgušnjavanja mulja se povećava kondicioniranjem mulja pre zgušnjavanja dodavanjem polielektrolita, čime se povećava efikasnost sa 85% na 98-99%.

Tabela 2.5.47 - Površinsko opterećenje suvom materijom flotatora mulja sa rastvorenim vazduhom

Vrsta mulja	> 220	
	bez dodavanja hemikalija	sa dodavanjem hemikalija
Aktivni mulj posle aeracije vazduhom	50	> 220
Aktivni mulj posle aeracije čistim O ₂	70-100	> 220
Mulj posle biofiltra	70-100	> 220
Primarni + aerisani aktivni mulj	70-150	> 220
Primarni + mulj posle biofiltra	100-150	> 220
Samo primarni mulj	100-150	> 220

- Cedenje mulja

Centrifugiranje mulja

Za zgušnjavanje sirovog mulja i za dehidraciju tretiranog mulja se može koristiti i dejstvo centrifugalne sile.

Postupak zgušnjavanja mulja centrifugiranjem primenljiv za hidraulički kapacitet postrojenja od $Q_{sr}^d > 200$ l/s.

Tabela 2.5.48 - Efekti centrifugiranja na dehidrataciju mulja

Vrsta mulja	SM u kolaču (%)	Izdvajanje SM (%)	
		bez hemikalija	sa hemikalijama
Netretirani mulj			
Primarni	25-35	75-90	> 90
Primarni i posle biofiltera	20-25	60-80	> 90
Primarni i aerobni aktivni	12-20	55-65	> 90
Višak mulja			
Biofilter	10-20	60-80	> 90
Aerobni aktivni	5-15	60-80	> 90
Aktivni aerisan čistim O ₂	10-20	60-80	> 90
Anaerobni stabilizovan			
Primarni	25-35	65-80	> 85
Primarni i posle biofiltera	18-25	60-75	> 85
Primarni i aerobni aktivni	15-20	50-65	> 85
Aerobno stabilizovan			
Višak aktivnog mulja	8-10	60-75	> 90
Termički kondicioniran			
Primarni i posle biofiltra	30-40	60-70	> 90
Primarni i višak aktivnog	30-40	75-85	> 90

Centrifugiranje mulja se može ostvariti u centrifugalnim separatorima i centrifugalnim dekanterima. Centrifugalni dekanteri su horizontalni sa konusnim rotorom, sa tangencijalnim dovodom mulja i napajanjem dekantera kroz centralnu osovinu rotora.

Efikasnost centrifugalnih dekantera mulja, prečnika 40/45 cm, iznosi od 350-500 kgSM/h.

Tabela 2.5.49 - Prosušenost centrifugiranog mulja dekanterima

Vrsta mulja	Polielektrolit	Prosušenost mulja (%)
sveži primarni mulj	sa	26-30
primarni + sveži aktivni mulj	sa	20-27
	bez	30-35
primarni + prevreli aktivni mulj	sa	20-25
aktivni mulj	sa	12-18

Vakuum filtracija mulja

Vakuum filtracija mulja se najčešće vrši rotacionim vakuum filterima sa obrtnim bubnjem, koji osim zone filtracije imaju i zonu za prosušivanje muljne pogače.

Vlažnost muljne pogače, prethodno hemijski kondicioniranog mulja, kreće se od 72-80%. Ukupna površina za filtraciju vakuum filtera se kreće do 50 m².

Tabela 2.5.50 - Učinak vakuum filtracije za mulj

Vrsta mulja	Opterećenje mulja kgSM/m ² ·h
sveži primarni mulj	30
prevreli primarni mulj	35
primarni + sveži aktivni mulj	20
primarni + prevreli aktivni mulj	25
aktivni sveži mulj	10
primarni + aktivni stabilizovani mulj	20

Filter prese za mulj

Trakaste filter prese

Kod trakastih filter presa se vrši kontinuirano doziranje mulja na perforiranu beskraju traku, na kojoj se ocedivanje vrši gravitaciono i pritiskom ispod valjaka. Širina trake je uobičajeno od 0.5-3.5 m, prosečno 2m. Opterećenje trakaste filter prese muljem uobičajeno iznosi od 90-680 kg/m·h, a hidrauličko opterećenje trakaste filter prese iznosi od 1.6-6.3 l/m·s (5.8-22.5 m³/m·h).

Tabela 2.5.51 - Efekti ocedivanja trakaste filter prese

Vrsta mulja	%SM u sirovom mulju	%SM u kolaču
Primarni	3-7	28-44
Primarni i višak aktivnog	3-6	20-35
Primarni i mulj posle biofiltera	3-6	20-35
Višak aktivnog	1-4	12-20
Anaerobno stabilizovan		
- primarni	3-7	25-35
- primarni + aktivni	3-6	20-35
- višak aktivnog	3-4	12-20
Aerobno stabilizovan	1-3	12-20
primarni + višak aktivnog		
Termički kondicioniran	4-8	25-50
primarni + višak aktivnog		

Komorne filter prese

Kod komornih filter presa se mulj pod pritiskom uvodi u komore, dok se ocedivanje mulja vrši filtracijom pod pritiskom kroz platno. Pritisak u komorama se uobičajeno kreće od 6.9-15.5 bara. Površina filtracije je oko 2 m² po ploči, odnosno oko 400 m² za celu presu. Radni učinak iznosi od 2-10 kg/m²·h, vreme ceđenja od 1-3 h, debljina muljne pogače od 25-38 mm, sadržaj vlage od 48-70%, dok filtracioni ciklus inzosi od 2-5 h.

Ciklus presovanja komornim filter presama sadrži sledeće operacije:

- punjenje prese
- presovanje (održavanje pritiska)
- otvaranje komora
- odstranjivanje kolača
- pranje komora
- zatvaranje prese

Tabela 2.5.52 - Efekti ocedivanja kod različitih uređaja

Postupak	Koncentracija SM%	
	Opseg	Tipično
Gravitacioni zgušnjivač		
- primarni mulj	4-10	6
- primarni + višak aktivnog	2-6	4
Flotacioni zgušnjivač		
- sa hemikalijama	3-6	4
- bez hemikalija	3-6	4
Zgušnjavanje centrifugiranjem		
- sa hemikalijama	4-8	5
- bez hemikalija	3-6	4
Vakuum filtracija (sa hemikalijama)	15-30	20
Trakasta filter presa (sa hemik.)	15-30	22
Filter presa (sa hemikalijama)	20-50	36
Centrifugiranje		
- sa hemikalijama	10-35	22
- bez hemikalija	10-30	18

– Sušenje mulja

Polja za sušenje mulja

Polja za sušenje mulja se koriste za ocedivanje i sušenje istrulelog mulja. Najčešće su polja za sušenje mulja peščana polja, sastavljena od komora odeljenih betonskim zidovima, čija je osnova sitan šljunak za drenažu od 15-25 mm, debljine sloja 20 cm, preko koga se stavlja sloj peska od 23-30 cm (10 cm - Degremont), granulacije 0.3-0.75 mm (0.5-1.5 mm - Degremont).

Na polja za sušenje mulja se nanosi mulja do visine oko 30 cm.

Uobičajene dimenzije polja za sušenje mulja su: širina 6m, dužina od 6-30 m.

Po dnu komore, ispod šljunka se postavlja drenažni sistem sastavljen od drenažne cevi Ø150, minimalnog nagiba 1‰, sa međusobnim rastojanjem cevi 2.5-6 m.

Mulj se u komore na polju za sušenje izliva minimalnom brzinom tečenja mulja u dovodnim cevima od 0.75 m/s.

Optimalno vreme sušenja mulja na poljima za sušenje iznosi 10-15 dana.

Sadržaj vlage u osušenom mulju treba da bude oko 60% (65% - Degremont).

Dispozicija osušenog mulja sa polja za sušenje je najčešće manuelna, pretovarom u prikolice ručno.

Tabela 2.5.53 - Zahtevana površina polja za sušenje mulja

Vrsta mulja	Površina (m ² /ES)	Opterećenje muljem (kgSM/m ² ·god)
Stabilizovan primarni	0.10-0.15	120-150
Stabilizovan primarni posle biofiltra	0.12-0.16	90-120
Stabilizovan primarni + višak aktivnog	0.16-0.23	60-100
Stabilizovan primarni uz hemijsku precipitaciju	0.19-0.23	100-160

Muljne lagune

Muljne lagune se mogu koristiti za prihvatanje, odležavanje i privremeno deponovanje mulja do konačnog odlaganja. Muljne lagune su primenljive u područjima sa velikim isparavanjem. Postrojenje se sastoji obavezno od 2 lagune.

Muljne lagune su nepodesne za ocedivanje mulja, već se deponovani mulj iz muljne lagune može dehidrirati isključivo prirodnim isušivanjem u laguni.

Dubina muljne lagune uobičajeno iznosi 0.75-1.25 m.

Muljne lagune se najčešće konstruišu tako da se pune 12-18 meseci, a suše 6 meseci (kapacitet muljne lagune treba da odgovara kapacitetu mulja postrojenja za tretman komunalnih otpadnih voda za 1-2 godine).

Opterećenje muljne lagune uobičajeno iznosi 36-39 kgSM/m³ godišnje.

– Kondicioniranje mulja

Hemijsko kondicioniranje mulja

Hemijsko kondicioniranje mulja je postupak za poboljšavanje dehidracije mulja koagulacijom kolidnog sadržaja mulja, čime se smanjuje vlaga sa 90-99% na 65-85%.

Hemijsko kondicioniranje mulja se uobičajeno primenjuje pre vakuum filtracije, ceđenja trakastim filter presama i centrifugiranja mulja.

Za hemijsko kondicioniranje mulja se najčešće koriste sledeće hemikalije: FeCl₃, CaO, Al₂(SO₄)₃, organski polimeri

FeCl₃ (ferihlorid)

Doziranje FeCl₃ za hemijsko kondicioniranje mulja iznosi od 1.5-4% SM mulja.

Za hemijsko kondicioniranje mulja se FeCl₃ retko koristi čist, već se koristi uobičajeno u smeši sa krečom, zbog dejstva kreča na bikarbonate, čime se poboljšava fizička struktura mulja.

Kreč se dodaje kao CaO u odnosu 150-250% u odnosu na FeCl₃.

Potrebne doze kreča i FeCl₃, za filtraciju pod smanjenim pritiskom, pri koncentraciji mulja od 50-70 g/l, date su u tabeli 2.5.54.

Tabela 2.5.54 - Doziranje CaO i FeCl₃ za kondicioniranje

Vrsta mulja	Sveži mulj				Prevreli mulj				Stabilizovani	
	neisprani		isprani		neisprani		isprani		neisprani	
	FeCl ₃	CaO	FeCl ₃	CaO	FeCl ₃	CaO	FeCl ₃	CaO	FeCl ₃	CaO
primarni	4	8	4	6	4	10	3.5	6	5	12
primarni + aktivni	5	10	5	8	5.5	12	5	8	6	14
aktivni	7	15							6.5	15

Hemijska flokulacija mulja se ostvaruje za 1-2 minuta, dok se proces uobičajeno vodi 10-15 minuta radi potpune flokulacije mulja.

Postrojenje za hemijsku flokulaciju mulja sa FeCl₃ i krečom se izvodi u obliku dva rezervoara sa mešanjem, jedan za FeCl₃ a drugi za CaO.

Organski polimeri

Za hemijsko kondicioniranje mulja organski polimeri se koriste u značajno manjim dozama od neorganskih flokulanata.

Kao flokulatori, ili kao katalizatori neorganske flokulacije (kada su anjonski polielektroliti) koncentracije anjonskih rastvora iznosi oko 1%, a katjonskih od 1-5%. Flokule organskih polielektrolita su velike i nestabilne, a vreme flokulacije iznosi 1-2 minuta.

Tabela 2.5.55 - Doziranje organskih polimera za kondicioniranje

Vrsta mulja	kg suvog polimera/t SM		
	Vakuum filter	Trakasta filter presa	Centrifuga
Primarni	1-5	1-4	0.5-2.5
Primarni+višak aktivnog	5-10	2-8	2-5
Primarni mulj posle biofiltera	1.25-2.5	2-8	-
Višak aktivnog	7.5-15	4-10	5-8
Primarni anaerobno stabilizovan	3.5-7	2-5	3-5
Anaerobno stabilizovan primarni+višak aktivnog	1.5-8.5	1.5-8.5	2-5
Aerobno stabilizovan primarni+višak aktivnog	7.5-10	2-8	-

Termičko kondicioniranje mulja

Temperatura kuvanja mulja pri termičkom kondicioniranju mulja iznosi od 160-210 °C, a vreme termičkog kondicioniranja mulja iznosi od 30-90 minuta.

Sadržaj isparljivih materija i aminokiselina u mulju raste sa temperaturom, sadržaj isparljivih kiselina je 15-35%, aminokiselina 60-65% i veći je kod prevrelog mulja, nego kod sirovog mulja.

Kuvanjem mulja se rastvara 25% HPK, filtrat posle kuvanja ima 2 000 - 3 000 mgBPK₅/l, kod kuvanja prevrelog mulja, a oko 5 000 mgBPK₅/l, kod kuvanja svežeg mulja. Sadržaj azota u filtratu je veliki, od 0.5-1.0 gNH₄⁺/l, dok fosfor ostaje u mulju.

Kuvanjem mulja iz komunalnih otpadnih voda na t= 180-200 °C, jednostavnom dekantacijom se dostiže koncentracija od 150 g/l, a filter presama, bez flokulacije, dobija se prosušena muljna pogača do 50%.

Analogija približnih rezultata nalaže vođenje postupka 1 sat na 180 °C, 30 minuta na 190 °C ili 15 minuta na 200 °C. Potrošnja pare za kuvanje mulja je oko 60 kg/m³ mulja.

Tečna faza iz kuvanog i dehidratisanog mulja se može koristiti kao:

- đubrivo u poljoprivredi
- vratiti na biološki tretman otpadne vode
- odvesti na posebno malo postrojenje za tretman, sa potrebnom efikasnošću u procesu sa aktivnim muljem od 96-98%, za vreme aeracije od 24 sata, uz dodavanje fosfora, koga nema u filtratu

Ovako se dobija sterilizovani mulj, koji se osuši na 40-50% SM, pa ako je istrulio, ne može više da fermentira i može se konačno odlagati.

– Stabilizacija mulja

Stabilizacija mulja predstavlja postupak hemijske i biološke inaktivacije mulja, čime se dobija čvrsti otpad koji se može konačno odlagati.

Stabilizacija mulja se može vršiti sledećim metodama:

- biološka stabilizacija organskih materija
- hemijska oksidacija organskih materija
- hemikalije čelijski otrovi
- toplotna sterilizacija i dezinfekcija

Tehnologije za sprovođenje stabilizacije mulja iz komunalnih otpadnih voda najčešće su:

- hemijska stabilizacija krečom
- termička stabilizacija
- anaerobna digestija (truljenje)
- aerobna digestija
- kompostiranje

Hemijska stabilizacija mulja

Hemijska stabilizacija krečom se vrši na $\text{pH}=12$. Hemijska stabilizacija krečom je privremena hemijska stabilizacija, pošto traje sve dok pH ne padne na normalu, kada se ponovo aktiviraju procesi truljenja.

Doziranje kreča za hemijsku stabilizaciju mulja se može vršiti bilo pre bilo posle ocedivanja mulja, a može se vršiti doziranjem CaO , pri čemu nastaje i pasterizacija mulja usled razvijanja toplote, kao i rastvorima Ca(OH)_2 . Gašeni kreč reaguje sa CO_2 i daje karbonat, čime se povećava čvrstoća mulja.

Tabela 2.5.56 - Doziranje kreča za stabilizaciju mulja

Vrsta mulja	SM mulja (%)		Doza kreča ($\text{kgCa(OH)}_2/\text{kgSM}$)	
	opseg	prosek	opseg	prosek
Primarni	3-6	4.3	120-340	240
Višak aktivnog	1-1.5	1.3	420-860	600
Aerobno stabilizovan	6-7	6.5	280-500	380
Mulj iz septičkih jama	1-4.5	2.7	180-1 020	400

Termička stabilizacija mulja

Pasterizacija mulja

Termička stabilizacija mulja se vrši kuvanjem mulja na $70\text{ }^\circ\text{C}$, u vremenu oko 20 minuta. Pasterizacijom mulja se postiže aseptičnost mulja.

Pasterizovani mulj se može koristiti u poljoprivredi.

Anaerobna stabilizacija mulja

Anaerobna stabilizacija mulja (anaerobno truljenje mulja) predstavlja anaerobnu razgradnju organskih materija do CH_4 i CO_2 u zatvorenom trulištu-digestoru, pri šaržnom, ili kontinuiranom postupku.

Anaerobna razgradnja mulja sastoji se od nekoliko etapa koje se, prema fizičkim i hemijskim parametrima procesa, mogu grupisati u dve faze :

- faza likvacije (pretvaranje u tečnu fazu) - kiselinsko vrenje, razgradnja organske mase do org. kiselina, alkohola, aldehida i dr.
- faza gasifikacije (proizvodnja gasa) - metansko vrenje, metanske bakterije razlažu produkte kisele faze do CH_4 (65-70%), CO_2 (25-30%), NH_3 i vode, a u malom obimu i do drugih gasova: O_2 (0-0.3%), CO (2-4%), N_2 ($\approx 1\%$), C_xH_y (0-1.5%), H_2S i dr

Metanska faza (druga faza) je osetljiva na promene temperature, pH (od 6.8-7.2), kao i toksičnih materija ($\text{Cu}(\text{OH})_2$ veće od 1 g/l, Cr^{+6} veće od 1 g/l, Ni veće od 1 g/l, Zn veće od 1.5 g/l, CN- veće od 0.012%SM, fenol veće od 0.4%SM, dterdžent veće od 2.4%SM). Kiselost, usled oslobađanja organskih kiselina u prvoj fazi, može se suzbiti bikarbonatnom tvrdoćom.

Produkcija bio gasa u metanskoj fazi iznosi 400 - 500 l/kg unetih organskih materija, odnosno 900 - 1000 l/kg istrulelih organskih materija. Donja toplotna moć bio gasa iznosi od 23 900 - 26 000 kJ/m³. Koncentracija SM u prevrelom aktivnom mulju varira između 6 - 7%, a kada truli kombinovani, aktivni i primarni mulj, može dostići do 8-10%.

Uređaji za primarnu dekantaciju

Pre anaerobnog truljenja mulja mora se izvršiti primarno zgušnjavanje mulja. Opterećenje primarnih ugušćivača mulja je dato u tabeli 2.5.57.

Tabela 2.5.57 - Ugušćivači za mulj iz komunalnih otpadnih voda

Tip ugušćavanja	SM (g/ES·dan)	SM (%)	Q_m (l/ES·dan)
primarna dekantacija			
- sveži mulj	54	5.0	1.08
- prevreli mulj	34	10.0	0.35
dekantacija+bakt. sloj			
- sveži mulj	74	5.0	1.48
- prevreli mulj	48	8.0	0.60
dekantacija+akt. sloj			
- sveži mulj	85	4.5	1.87
- prevreli mulj	55	7.0	0.79

Tipovi anaerobnih reaktora (digestora)

Kod reaktora (digestora) sa standardnom digestijom (nisko opterećeno trulište) su sledeće karakteristike procesa:

- masa u digestoru se ne zagreva i ne meša
- vreme digestije u reaktoru je od 30-90 dana

- zgušnjavanje mulja i stvaranje nadmuljne vode je spontano, mehuri gasa se penju ka površini, noseći lake čestice, usled čega se na površini stvara kora, a između kore i ugušćenog mulja je nadmuljna voda (slika 38)
- opterećenje anaerobnog reaktora je od 0.5-1.6 kgSM/m³ na dan

Kod reaktora (digestora) sa velikom brzinom digestije (visoko opterećeno trulište) su sledeće karakteristike procesa:

- vrši se zagrevanje digestora uz potpuno mešanje mase
- favorizuje se rast termofilnih (optimalna temperatura od 40-60°C) i mezofilnih bakterija (optimalna temperatura od 20-40°C)
- vreme digestije u reaktoru je do 15 dana
- unutar reaktora se vrši recirkulacija mulja pumpanjem ili cevnim mešalicama (slika 46)
- vreme zadržavanja u reaktoru 10-20 dana
- opterećenje reaktora muljem je od 1.6-6.4 kgSM/m³ na dan

Kod dvostepenih reaktora su sledeće karakteristike procesa:

- u prvom reaktoru se trulište zagreva i meša (kiselinsko vrenje)
- u drugom reaktoru se trulište ne zagreva i ne meša (metansko vrenje)
- vreme digestije do 15 dana (slika 39)
- trulišta se obično zagrevaju radi ubrzavanja procesa i povećavanja produkcije gasa
- potrebna zapremina reaktora iznosi:

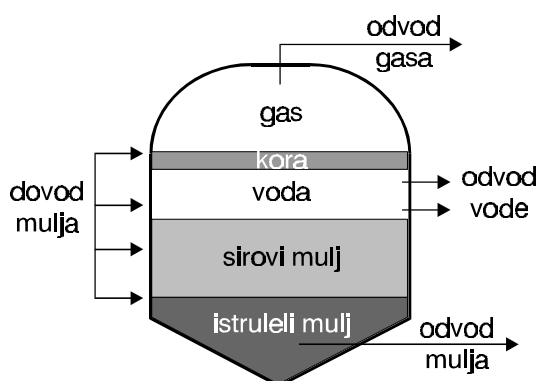
$$V_T (\text{m}^3) = \left[V_f - \frac{2}{3} (V_f - V_d) \right] \cdot t$$

$V_f (\text{m}^3)$ - dnevna zapremina svežeg mulja

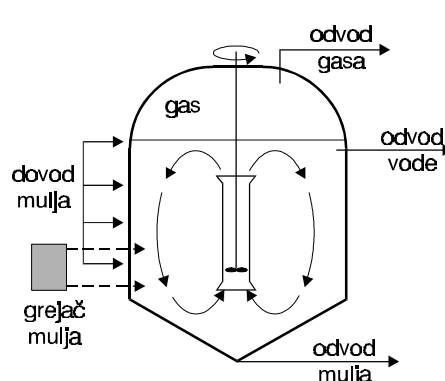
$V_d (\text{m}^3)$ - dnevna zapremina uklonjenog istrulelog mulja

t (dan)- vreme truljenja

Slika 45 - Reaktor sa normalnom brzinom digestije



Slika 46 - Reaktor sa velikom brzinom digestije



Slika 47 - Kombinovani dvostepeni reaktor

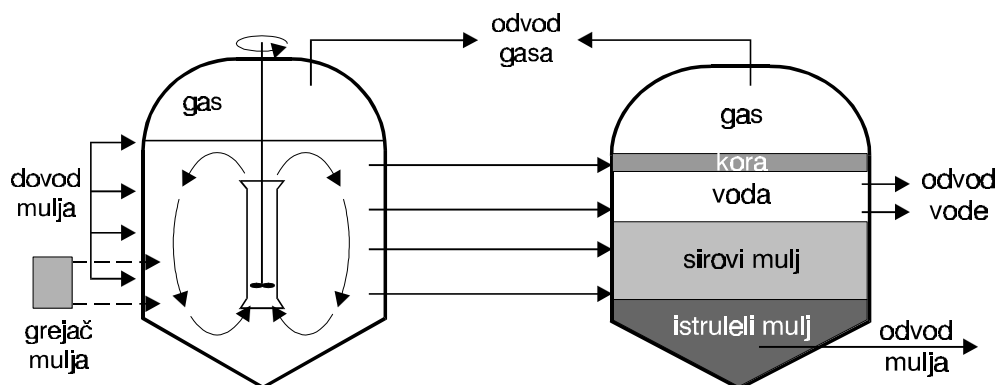


Tabela 2.5.58 - Parametri za projektovanje anaerobnih digestora

Parametar	Standardna brzina	Velika brzina
Zapreminski kriterijum (m ³ /ES)		
- primarni	0.05-0.09	0.04-0.06
- primarni+ biofilterski	0.11-0.15	0.07-0.10
- primarni+ aktivni	0.11-0.17	0.07-0.11
Opterećenje SM (kgSM/m ³ ·dan)	0.65-1.60	1.60-3.20
Vreme zadržavanja SM (dan)	30-90	15-20

Uobičajeni prečnik cilindra digestora iznosi od 6-38 m. Uobičajena dubina mulja u reaktoru iznosi od 7.5-14 m. Reaktor ima zakošenost dna minimalno 1:4, kao i spoljnu toplotnu izolaciju i zaštitu od korozije.

Produkcija gasa u reaktoru iznosi oko 0.75-1.12 m³/kg smanjenja mase volatilnih materija, odnosno grubo aproksimovano oko 15-22 m³/1 000 ES na postrojenjima za mehaničko prečišćavanje otpadnih voda, a 28 m³/1 000 ES na postrojenjima za biološko prečišćavanje otpadnih voda.

Aerobna stabilizacija mulja

Aerobna stabilizacija mulja je postupak koji se uspešno može koristiti za postrojenja za obradu otpadne vode do 200 l/s, posebno u postupcima produžene aeracije i kontaktne stabilizacije u istom bazenu.

Postupak aerobne stabilizacije mulja se vrši u jednoj fazi (zajedno voda i mulj), a pod dejstvom aerobnih mikroorganizama, uz prisustvo kiseonika, čime se biodegreabilne organske materije iz mulja razgrađuje do CO₂, H₂O, fosfata, sulfata i nitrata.

Opterećenje mase mulja pri aerobnoj stabilizaciji je manje od 0.05 kgBPK₅/kgSM na dan kod zajedničke aerobne stabilizacije vode i mulja, a kod odvojene aerobne stabilizacije mulja od 0.4 kgBPK₅/kgSM na dan.

Vreme zadržavanja mulja u procesu aerobne stabilizacije je na t= 5°C od 27-28 dana uz homogenizaciju suspenzije mulja.

Prednosti aerobne digestije su:

- jednaka redukcija volatilnih materija
- niža BPK₅ u nadmuljnoj vodi
- krajnji produkt sličan humusu, bez mirisa, biološki stabilan
- prostije upravljanje
- niže investicije od anaerobnog postupka

Glavni nedostaci aerobne digestije mulja su:

- visoki troškovi za dovođenje kiseonika
- stabilizovani mulj se teže oceduje
- proces je osetljiv na temperaturne promene
- ne izdvaja se metan kao koristan proizvod

Postupak aerobne stabilizacije mulja je sličan postupku tretmana otpadne vode sa aktivnim muljem - korišćeni mikroorganizmi se nalaze u endogenoj fazi. Čelijsko tkivo oksidiše do CO₂, NH₃ i vode, a NH₃ oksidiše do NO₃⁻.



Usled oslobađanja CO₂ opada pH, pa je neophodno postaviti puforni sistem. Ako pH tokom procesa pada, postojeći puferski kapacitet vode je nedovoljan, te se mora povećati. Teorijska potrošnja alkalnosti na oksidisanje NH₃ iznosi oko 7.1 kg CaCO₃.

Kod kombinovanog mulja se vrši oksidacija primarnog mulja i endogena oksidacija ćelija aktivnog mulja. Proces se može vršiti u otvorenim aerobnim reaktorima, bilo kontinuirano, bilo šaržno.

Tabela 2.5.59 - Parametri za projektovanje aerobnih digestora

Parametar	Vrednost (dan)
Hidrauličko vreme zadržavanja, na oko 20°C	
- samo višak aktivnog mulja	10-15
- aktivni mulj bez primarnog taložnika	12-18
- primarni + višak aktivnog ili biofilterskog	15-20
Opterećenje čvrstom org. materijom (kg vol/m ³ ·dan)	1.6-4.8
Potreban O ₂ (kgO ₂ /kg uklonjene materije)	
- tkivo ćelije	≈ 2.3
- BPK ₅ u primarnom mulju	1.6-1.9
Potrebna energija mešanja	
- mehanički aerator (kW/m ³)	0.02-0.04
- difuzno-aeraciono mešanje (m ³ /m ³ ·min)	0.02-0.04
Koncentracija rastvorenog O ₂ u suspenziji (mg/l)	1-2
Redukcija volatilnih susp. materija (%)	40-50

Uticaj temperature na aerobni tretman mulja je veliki jer su aerobni digestori otvoreni. Pri nižim temperaturama se povećava vreme zadržavanja mulja u procesu.

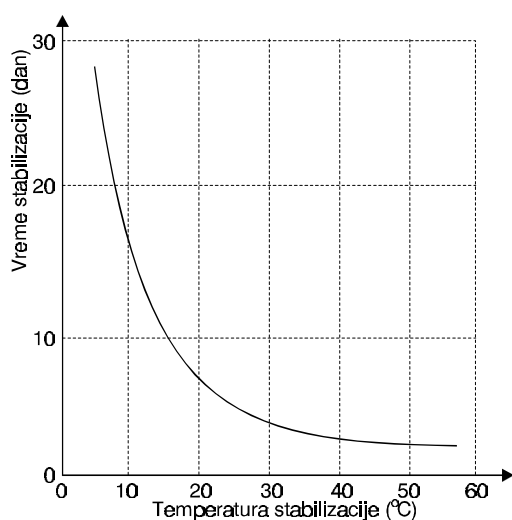
Betonski ukopani aerobni digestori su bolji od metalnih, a takođe je bolja i dubinska aeracija od površinske aeracije u digestoru.

Kod termofilne aerobne digestije visok je stepen uklanjanja, do 70%, uz vreme zadržavanja od 3-4 dana. Karakteristike termofilnih procesa su sledeće:

- reakcije su egzotermne, oslobađa se 100 kJ/l mulja, što zagreva mulj do termofilnog opsega od 45°C
- vreme trajanja aerobne stabilizacije mulja zavisi od temperature mulja (slika 48)
- proces je težak za održavanje, ekonomski nepovoljan, kombinuje se kao prvi stepen anaerobne digestije

Kod kriofilne digestije je niža temperatura procesa, do 20°C. Za temperaturu od 5-20°C proizvod t (°C) i starosti mulja treba da iznosi 250-300 °C na dan.

Slika 48 - Zavisnost trajanja aerobne stabilizacije od temperature



Kompostiranje mulja

Kompostiranje mulja predstavlja postupak aerobne dekompozicije organskih materija pod dejstvom mikroorganizama u materijal sličan humusu. Postupak stabilizacije i konačnog odlaganja mulja od tretmana komunalnih otpadnih voda može se vršiti samostalno, ili u sklopu sa komunalnim otpadom.

Faze kompostiranja su:

- mešanje ocedenog mulja sa dodacima za povećavanje zapremine (piljevina, slama, ljuske žitarica i drugo)
- aeracija komposta, ili uduvavanje vazduha kroz postavljene cevi, sa prevrtanjem komposta
- izdvajanje dodataka za povećavanje zapremine
- konačna dispozicija komposta

Optimalna vlažnost komposta se kreće u granicama od 40-60%.

Kompostiranje se vrši u prizmama, otvorenim ili prekrivenim, visine do 1.5 m, širine osnove od 2-4 m.

Odnos C:N u sirovom mulju povoljan za kompostiranje iznosi od 20:1 do 30:1, što približno odgovara po sastavu smeši mulja i komunalnog otpada.

Vreme trajanja kompostiranja mulja iznosi 10-12 nedelja.

– **Termička obrada mulja**

U okviru postupaka termičke obrade mulja mogu se vršiti operacije:

- sušenje mulja
- termoredukcija mulja

Sušenje mulja

Sušenjem se mulj uparava i oslobađa grube i vezane vode, do nivoa vlažnosti okoline, na minimalno 8-12% vlage.

Presušeni mulj, ispod vlažnosti okolne sredine, ponovo se ovlaži u uslovima spoljne sredine, uobičajeno preko početne vlažnosti pre sušenja, pa se presušivanje mulja ne isplati.

Bolji efekti sušenja mulja se ostvaruju kod istostrujnog sušenja, zbog izbegavanja stvaranja kore na površini mulja, usled lokalnog presušivanja, što se dešava kod suprotno strujnog sušenja mulja.

Brzina sušenja mulja treba da odgovara brzini difuzije vlage kroz sloj mulja.

Potrebna toplota za isparavanje vode u mulju iznosi 4 600 - 6 700 kJ/kg, a temperatura gasa za sušenje mulja treba da bude ispod 450 °C. Temperatura izlaznih gasova i vodene pare iz postrojenja za sušenje mulja treba da bude iznad tačke rose, oko 200 °C, da para ne bi kondenzovala.

Sušare za mulja mogu biti rotacione i komorne (kaskadne) sa tasovima.

Rotacione sušare za mulj su danas najviše u upotrebi za sušenje mulja iz komunalnih otpadnih voda.

Termodestrukcija mulja

Od postupaka termodestrukcije mulja zastupljene su operacije:

- **spaljivanje mulja** - sagorevanje organskog sadržaja, svođenje zapremine pepela na 3-4% početne zapremine mulja, uz prethodno mehaničko odvajanje vode radi energetske uštede
- **oksidacija vlažnim vazduhom** - sirovi, prethodno samleveni mulj, bez krupnih primesa, oksidiše se vlažnim vazduhom na $t = 280^{\circ}\text{C}$, pod uslovom da ima najmanje 2-3% organske materije u mulju, proizvod reakcije je otpadni gas, vodena para i oksidisani mulj, stepen oksidacije na $t = 170-210^{\circ}\text{C}$ je 10-30%, a na preko 250°C je 80-95%, odnosno stepen uklanjanja organskih materija je 90-95%, oksidisani mulj je sterilan i ne raspada se
- **gasifikacija mulja** - propuštanjem vodene pare kroz usijani mulj se dobija vodeni gas, bolje iz sirovog nego istrulelog, ili aerobno stabilizovanog mulja, u generatoru čvrstih goriva, (gasnom generatoru) pa je bolje da se mulj briketira, efikasnost iskorišćenja energije gasifikacijom iznosi oko 67%, toplotna moć dobijenog vodenog gasa iznosi 4 600-4 800 kJ/Nm³, a sadržaj pepela u mulju je 40%
- **piroliza mulja** - slično gasifikaciji, tretiranje mulja na visokim temperaturama, do $1\ 600^{\circ}\text{C}$, uz dodavanje vazduha ili čistog O₂, u pećima za pirolizu, sa dobijanjem produkata kao što su gas (pretežno CO i H₂), ulja, čvrsti otpaci, čađ i voda

Spaljivanje mulja

Donja toplotna moć mulja iz komunalnih otpadnih voda je oko 21 000 kJ/kg.

Potrošnja vazduha za sagorevanje mulja iznosi oko 6.5 Nm³/kg organskih materija iz mulja. Temperatura izlaznih gasova i vodene pare treba da bude iznad tačke rose, oko 200 °C, da para ne bi kondenzovala.

Za otprašivanje otpadnog gasa na nivo < 200 mg/Nm³ se koriste vlažni skruberi.

Etažne peći za spaljivanje mulja iz komunalnih otpadnih voda su danas najviše u upotrebi. Etažne peći se sastoje od niza platformi-etaža niz koje se sliva mulj. Skidanje mulja sa kaskada se vrši rotacionim strugačima. Temperatura izlaznog gasa iz peći je 350 °C, a na gornjim etažama je temperatura oko 70 °C. Peć se napaja odozgo iz dozirnog bunkera, sa prethodno izdrobljenim muljnim pogačama iz presa.

Vlažni mulj se na gornjim etažama suši na oko 50-60% vlage, odakle se sliva na dole. Temperatura spaljivanja mulja iznosi 760-870 °C, što omogućava potpuno sagorevanje materije u mulju. Pepee se hladi u dodiru sa vazduhom koji se uvodi za sagorevanje u donjem delu peći.

Dimenzije etažnih peći idu do 7 m u prečniku, a broj etaža se kreće od 4-12.

Sadržaj pepela u otpadnom gasu iz peći zahteva velike količine vode za ispiranje gasa u skruberima.

Peći za spaljivanje mulja u fluidizovanom sloju nemaju pokretnih mehaničkih delova. Radni sloj je fluidizovani sloj peska temperature od 700-800 °C. Mulj se uduvava u fluidizovanom sloju odozdo. Pranje letećeg pepela je vlažnim skruberima, da bi se dobilo 2-4%SM u izlaznom gasu. Prečnici peći u fluidizovanom sloju su od 0.5-6 m.

Rotacione peći za spaljivanje mulja su konstrukciono obrtni doboši sa sopstvenim ložištem. Temperatura spaljivanja mulja u rotacionim pećima iznosi od 900 - 1 000 °C, uz višak vazduha od 50%. Izlazna temperatura gasa iz rotacione peći je oko 300 °C.

Za rekuperaciju letećeg pepela se koriste sistemi ciklona, a na kraju se vlažnim skruberom ispira otpadni gas iz peći.

Rastresanje mase mulja za spaljivanje se u prvom delu peći vrši sistemom elisa, a u drugom delu sistemom lopatica.

– **Dezinfekcija mulja**

Dezinfekcija mulja se može vršiti:

- termički
- hemijski
- zračenjem

Termička dezinfekcija

U postupke termičke dezinfekcije mulja spadaju:

- **pasterizacija mulja** - termička obrada mulja pri kojoj se mulj zagreje do 70°C (od 65-100°C) u trajanju od 25 minuta, prethodno isitnjenog mulja, krupnoće čestica do 5 mm
- **termičko kondicioniranje** - aerobna i anaerobna termofilna stabilizacija, sopstvenim zagrevanjem i biohemijskim reakcijama

- **hemijsko zagrevanje** - oslobađanje toplote ubacivanjem supstanci sa egzotermnim reakcijama, kao negašeni kreč

Hemijska dezinfekcija

Hemijska dezinfekcija mulja se najčešće vrši korekcijom pH vrednosti pomoću kreča. Dejstvo kreča na mulj je objašnjeno u prethodnim poglavljima.

Dezinfekcija zračenjem

Za dezinfekciju mulja zračenjem mogu se koristiti dezinfekcijai gama zracima, ali ovaj vid dezinfekcije, pre svega zbog opasnosti od zračenja, kao i zbog enormne cene opreme, pa i dužine procesa treba izbegavati, pa čak i za male količine mulja, osim možda za laboratorijska istraživanja otpadnih muljeva.

- **Iskorišćenje mulja**

Đubrenje zemljišta

Otpadni mulj iz postrojenja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda, osim hranljivih materija, što je manje značajno, predstavlja važan faktor za zadržavanje vode u zemljištu, pa je naročito koristan kod gajenja cveća, drveća, pašnjaka i sl.

Otpadni mulj podstiče razvoj flore autotrofnih mikroorganizama u zemljištu, čime se direktno utiče na biljnu hranu neorganskog porekla.

Razastiranje mulja u poljoprivredi se može vršiti u sledećim formama:

- u tečnom stanju, prethodno zgušnjen
- u čvrstom stanju, prethodno dehidratiran na 20-50% SM
- u obliku praha, prethodno intenzivno osušen na sadržaj 65-90% SM

Tabela 2.5.60 - Karakteristike kombinovanog mulja iz gradske kanalizacije

Vrsta mulja	Jed.	N	P ₂ O ₅	K ₂ O	Org. materije
sveži mulj	g /100 gSM	3.5-4.5	2-3	0.5-1.0	60-80
istruleli mulj	g /100 gSM	2-2.5	1-2	0.2-0.5	40-65

Otpadni mulj se u poljoprivredne svrhe može uspešno kombinovati sa stajnjakom.

Međutim, mulj iz postrojenja velikih naselja, posebno sa razvijenom industrijom, može biti fitotoksičan, zbog prisustva teških metala.

Iskorišćenje energije

Rekuperacija energije iz otpadnog mulja se može vršiti na dva načina:

- proizvodnja metana truljenjem mulja (anaerobno vrenje mulja), pri čemu se dobijeni energent može koristiti za grejanje i proizvodnju električne energije, kako na samom postrojenju za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda, tako i u bližoj okolini
- spaljivanjem osušenog mulja, dobijena energija se može koristiti za sušenje mulja

3. SISTEMI POSTROJENJA ZA PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

3.1. Sistemi postrojenja sa lagunama

3.1.1. Istorijat postrojenja sa lagunama

Istorijat postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda sa lagunama datira od perioda posle II Svetskog rata. Prvi koraci su načinjeni još tokom rata u severnoj Africi, usled nagomilavanja velikog broja vojnika na malom prostoru u pustinjским uslovima, pri čemu je evakuacija velike količine otpadnih voda postala novi i jako veliki problem.

Tokom dve decenije posle II Svetskog rata mnogi delovi sveta su prihvatili rešavanje rastuće problematike komunalnih otpadnih voda postrojenjima sa lagunama. To je pre svega bilo iz razloga niskog nivoa potrebne tehnike i malih investicionih ulaganja. Može se reći i da su ova postrojenja sa lagunama u navedenom periodu postala jedina rešenja za najveći broj naselja na celoj planeti, odnosno postala svojevrsna "sirotinjska postrojenja" na planeti.

Iako postavka ove tehnologije zahteva toplu, ili najmanje umerenu klimu, lagune su "nicale" čak i na Aljasci.

Osnova za njihovu postavku je potražena u postojećim postrojenjima za tretman industrijskih otpadnih voda nekih proizvodnih pogona prehrambene industrije, tekstilne industrije, industrije celuloze i papira, hemijske i petrohemijske industrije i slično.

Međutim, početna euforija je brzo počela da splašnja kada su počeli da se nagomilavaju brojni problemi prilikom tretiranja komunalnih otpadnih voda, koji se nisu mogli otkloniti bez opsežnijih izmena u tehnologiji.

Pokušajima da se nastali i uočeni problemi otklone sve se više išlo ka ugrađivanju pojedinih rešenja iz kompaktnih postrojenja za tretman komunalnih otpadnih voda, čime je nastao veliki broj hibridnih postrojenja, postrojenja po karakteristikama između laguna i kompaktnih postrojenja, kojih najviše danas egzistira u svetu.

3.1.2. Karakter postrojenja sa lagunama

Sistemi postrojenja sa lagunama za tretman komunalne otpadne vode spadaju po tehnološkoj suštini u stacionarne sisteme za tretman otpadnih voda. Po karakteru rada, postrojenja sa lagunama spadaju u polutehničke sisteme.

Po biološkom tretmanu spadaju u sisteme aerobnog tretmana sa aktivnom masom mikroorganizama, sličnom tretmanu tipa produžene aeracije, bez razvijanja dovoljne količine aktivne mase mikroorganizama, koja bi formirala čestice aktivnog mulja. Praktično se postrojenja sa lagunama mogu upoređivati sa kompaktnim postrojenjima sa izrazito produženom aeracijom, sa ekstremno niskim organskim i hidrauličkim opterećenjem.

Osnovna karakteristika sistema sa lagunama je zajednički tretman otpadne vode i otpadnog mulja od početka pa do kraja procesa, tako da nema linije vode i linije mulja, pa ni mogućnosti značajnijeg upravljanja tokovima vode i mulja.

Lagune su u okviru sistema postrojenja podeljene na dve grupe:

- biološke lagune (aerobne, fakultativne, anaerobne)
- muljne (taložne) lagune

Biološke lagune imaju značajniju primenu u obradi industrijskih otpadnih voda, posebno onih opterećenih sedimentom i biodegreabilnim materijama (na primer, otpadne vode prehrambene industrije).

Aerobne lagune su najčešće ukopani zemljani bazeni dubine oko 2-2.5 m, sa dnom izolovanim glinom, ili plastičnom folijom. Aeracija se može biti prirodna ili prinudna (aerisane lagune). Prirodna aeracija zavisi pre svega od fizičkih faktora okoline, ponajviše od spoljne temperature i temperature vode, pošto rastvorljivost kiseonika u vodi zavisi od temperature sistema. Tako na visokim (preko 35°C) i niskim (ispod 5°C) spoljnim temperaturama, rastvorljivost kiseonika u vodi opada na nivo koji ne može da zadovolji potrebe za kiseonikom, a takođe i metabolizam mikroorganizama opada. Takođe, film od emulzije na površini lagune, recimo film od ulja, kao i zaleđena površina vode, izoluju vodu od atmosfere, pa se kiseonik iz vazduha ne može rastvarati u vodi.

Aerobne lagune sa prirodnom aeracijom visoko zavise od klimatskih (vremenskih) faktora, tako da u uslovima jakih zima, kao i u uslovima ekstremno toplih leta, aerobni procesi u lagunama praktično prestaju, tako da u ekstremno zimskim uslovima biološki proces u lagunama "zamire" do povećavanja spoljne temperature, dok se u ekstremnim letnjim uslovima forsiraju fakultativni i anaerobni procesi na račun aerobnih procesa, naročito u dubljim slojevima vode.

Fakultativne lagune su najčešće ukopani zemljani bazeni dubine 2-3 m, sa dnom izolovanim glinom, ili plastičnom folijom. U fakultativnim lagunama se, usled nedovoljne količine kiseonika po dubini, u gornjim slojevima vrše aerobni procesi, a u donjim slojevima i mulju na dnu anaerobni procesi, usled metabolizma mikroorganizama koji mogu da egzistiraju i pod aerobnim i pod anaerobnim uslovima (fakultativni mikroorganizmi).

Najčešće se u praksi aerobne lagune, tokom dužeg perioda godine, po efektima bioloških procesa ponašaju kao fakultativne lagune, posebno u žarkim letnjim periodima.

Anaerobne lagune su najčešće ukopani zemljani bazeni dubine 3-4 m, sa dnom izolovanim glinom, ili plastičnom folijom. U anaerobnim lagunama usled nedostatka kiseonika po celoj dubini laguna dolazi do procesa pod anaerobnim uslovima (proces vrenja), pod dejstvom metabolizma anaerobnih mikroorganizama.

Obrada otpadnih voda u svim navedenim lagunama, osim u aerisanim lagunama, spada u netehničke (prirodne) postupke, a obrada otpadnih voda u aerisanim lagunama, spada u tehničke postupke.

Aerisane lagune predstavljaju aerobne lagune sa prinudnom aeracijom, kod kojih se vrši permanentna aeracija vode uduvanjem vazduha, pod nadpritiskom najčešće ostvarenim duvaljkama, po celoj dubini vode. Aerisane lagune su najčešće ukopani zemljani bazeni dubine 3-4 m, sa dnom izolovanim glinom, ili plastičnom folijom.

Međutim, i pored permanentno prisutnog kiseonika u vodi, uticaj spoljne temperature na rastvorljivost kiseonika uzrokuje značajne oscilacije u količini rastvorenog kiseonika u otpadnoj vodi, posebno po vertikali, što u uslovima dugog vremenskog zadržavanja vode u aerisanim lagunama može izazivati oscilacije u dinamici metaboličkih procesa.

Takođe, na dinamiku metaboličkih procesa u aerisanim lagunama ima uticaja i prosečna temperatura u dužem vremenskom periodu (godišnja doba). Kada je prosečna temperatura u dužem periodu ekstremno visoka ili ekstremno niska, dolazi do snižavanja dinamike metabolizma mikroorganizama na najniži nivo, pa čak povremeno i do prekidanja metabolizma aerobnih mikroorganizama, odnosno dolazi do svojevrsnog "konzerviranja" sistema ("zamrzavanja" aktivnosti aerobnih mikroorganizama), dok se uslovi sredine ne promene.

Naravno, usled permanentne aeracije, kojom se u zimskim uslovima voda zagreva, a u letnjim uslovima hladi, navedene pojave su značajno nižeg nivoa kod aerisanih laguna u odnosu na aerobne lagune sa prirodnom aeracijom.

Može se konstatovati da u našim uslovima do prekida aktivnosti mikroorganizama u aerisanim lagunama, usled klimatskih uticaja, može dolaziti izuzetno retko, pri ekstremnim klimatskim parametrima, koji nisu uobičajeni za naše klimatsko područje.

Aeracija se kod aerisanih laguna rešava najčešće štapnim difuzorima za vazduh, međusobno povezanih crevima, koja se uobičajeno postavljaju po dužoj strani laguna, u jednoj ili dve pruge. Moguća je, a verovatno je i tehnološki svrsishodnija, aeracija sa mehaničkim plivajućim aeratorima, koja se koristi kod tretmana industrijskih otpadnih voda.

U sistemu obrade otpadnih voda lagunama u aerisanim lagunama se vrši aerobni tretman otpadne vode i aerobna stabilizacija mulja.

U naprednijim rešenjima sistema postrojenja sa lagunama ova dva procesa su odvojena u dve lagune, pri čemu se koriste prva lagunu za aerobnu obradu otpadne vode (laguna AL-I), a druga lagunu za aerobna stabilizacija mulja (laguna AL-II). Aeracija vode se mora vršiti samo u prvoj laguni AL-I, dok se voda u drugoj laguni može aerisati permanentno, povremeno, ili se uopšte ne mora vršiti prinudna aeracija, već se potrebna količina kiseonika može unositi povećanim aerisanjem vode u prvoj laguni AL-I, odnosno prirodnom aeracijom. Zavisno od toga da li se prinudno aeriše i druga laguna, postupak aerobne stabilizacije mulja u njoj može biti sa produženom aeracijom (kada se prinudno aeriše), ili naknadnom stabilizacijom (kada se ne aeriše prinudno).

Kod sistema postrojenja sa lagunama za obradu otpadne vode nema separacije primarnog mulja iz otpadne vode pre aerisanih laguna, tako da je problematika sa muljem, odnosno održavanjem mulja u suspenziji u vodi lagune značajan problem.

U aerisanim lagunama se mora vršiti permanentna homogenizacija vode, primarnog mulja i aktivne mase mikroorganizama. Ova homogenizacija se ostvaruje pneumatski mešanjem smeše vode, primarnog mulja i aktivne mase mikroorganizama vazduhom za aeraciju. Stoga je dispozicija difuzora u aerisanoj laguni veoma značajna, ne samo sa stanovišta obezbeđivanja kiseonika za aerobni proces, već i sa stanovišta homogenizacije otpadne vode u procesu.

Kod ukopanih zemljanih četvorougaoznih bazena, u kojima se voda dugo vremena zadržava, problem homogenizaciji vode i mulja predstavljaju uglovi bazena, u kojima dolazi do stvaranja muljnih nanosa, pošto u uglovima bazena nema strujanja vode. Ovaj nedostatak se može ispraviti zaobljavanjem uglova bazena ("peglanjem" uglova), tako da se prate strujnice vode kroz bazen, čime se izbegavaju "mrtve zone" tokova u uglovima bazena.

Za razliku od procesa u aerobnim lagunama sa prirodnom aeracijom, kod aersainih laguna se uobičajeno vrši zasejavanje otpadne vode aktivnom masom mikroorganizama pre ulaska u lagunuu, slično kao kod postupaka sa aktivnim muljem u kompaktnim sistemima.

Evakuacija mulja, kao i recirkulacija mulja i aktivne mase mikroorganizama iz aerisanih laguna, može se vršiti potopljenim muljnim pumpama. Najčešće se ova evakuacija i recirkulacija u praksi vrši mamut pumpama, postavljenim na nizvodnom kraju laguna. Povratna aktivna masa mikroorganizama se dodaje na uzvodnom kraju laguna, mešanjem sa svežom otpadnom vodom pre ubacivanja u lagunuu.

U muljnim (taložnim) lagunama se vrši separacija mulja od tretirane otpadne vode, pre evakuacije u recipijent. Kako je sistem laguna sa stanovišta vode protočan sistem, a sa stanovišta mulja statičan sistem, muljna laguna se permanentno ispunjava muljem, sve dok se toliko ne ispuni muljem, da se više ne može efikasno evakuisati bistra voda preko preliiva. Stoga mora postojati još jedna muljna laguna, koja će preuzeti sedimentaciju mulja u periodu dok se prva muljna laguna isušuje i čisti od mulja.

Muljne lagune su ukopani bazeni dubine oko 2 m bez uređaja za aeraciju. Izbistrena voda od mulja se preko preliiva-ustave ispušta u recipijent. Mulj se evakuše iz taložne lagune jednom godišnje, ili u dve godine, tako što se laguna isprazni od vode, a mulj posle prirodno isuši, mehanički evakuše i odveze na mesto konačnog odlaganja.

3.1.3. Upotreba postrojenja sa lagunama

Sistemi postrojenja sa lagunama sa aktivnom masom mikroorganizama predstavljaju pandan kompaktnim sistemima sa slabo opterećenim muljem, sa produženom aeracijom, kao i sa ili bez recirkulacije aktivnog mulja.

Kako se u tehnologiji obrade sistemom postrojenja sa lagunama koriste samo aerisane lagune i muljne lagune, sistemi obrade otpadnih voda u lagunama spadaju u polutehničke postupke (aerisane lagune - tehnički postupci, muljne lagune - netehnički postupci).

Najčešće se sistemi postrojenja sa lagunama koriste za prečišćavanje komunalnih i biološki visoko opterećenih industrijskih otpadnih voda, kapaciteta od 1 000-25 000 ES.

Efekat prečišćavanja koji se može dostići u sistemu laguna je oko 95% u odnosu na BPK₅.

Tabela 3.1.1 - Neki podaci bitni za projektovanje sistema postrojenja sa aerisanim lagunama

Veličina	Jedinice	Vrednost
Aerisana laguna		
Zapreminsko opterećenje	kgBPK ₅ /m ³ na dan	0.02-0.06
Potrošnja kiseonika	kgO ₂ /kgBPK ₅	1.5
Potrebna površina lagune	m ² / ES	1.0-1.5
Taložna laguna		
Vreme zadržavanja vode	dan	≈1
Količina mulja: svežeg	l / ES godišnje	20-70
osušenog	l / ES godišnje	10-40

3.1.4. Tehnološka postavka postrojenja sa lagunama

3.1.4.1. Predtretman otpadne vode

Prethodni postupak u sistemu laguna za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda spada u postupak prilagođavanja sistema postrojenja sa lagunama zahtevima tretmana komunalnih otpadnih voda, po ugledu na kompaktne sisteme.

Praktično je to preslikana primarna obrada, odnosno mehanički tretman iz tehnologije malih kompaktnih postrojenja za aerobni tretman sa produženom aeracijom.

Tako se prethodni postupak kod postrojenja sa lagunama uobičajeno sastoji od sledećih tehnoloških delova:

- separacije na grubim rešetkama
- stanice za primarno dizanje otpadne vode
- separacije automatskim rešetkama
- separacije peska peskolovom
- separacije masti i ulja mastolovom

Separacija grubim rešetkama predstavlja neophodnu zaštitu centrifugalnih muljnih pumpi za primarno dizanje od grubog komadnog čvrstog otpada u komunalnoj otpadnoj vodi.

Stanica za primarno dizanje otpadne vode je identična stanicama za primarno dizanje otpadne vode kod kompaktnih sistema, s' tim što se češće koriste centrifugalne muljne pumpe od pužnih pumpi za podizanje otpadne vode na radni nivo, odnosno u sabirni šaht na početku toka, odakle se otpadna voda dalje kreće gravitaciono.

Separacija automatskim rešetkama predstavlja neophodnu zaštitu centrifugalnih muljnih pumpi za evakuaciju mulja -povratni mulj od plivajućeg komadnog čvrstog otpada u komunalnoj otpadnoj vodi, a postavlja se identično kao kod kompaktnih sistema.

Separacija peska peskolovom predstavlja neophodnu zaštitu centrifugalnih muljnih pumpi za evakuaciju mulja - povratni mulj od habanja peskom, kao i od nanosa inertnog sedimenta koji bi se sakupljao u lagunama, pre svih u aerisanoj laguni AL-I.

Razlika između peskolova kod postrojenja sa lagunama i kompaktnih postrojenja može samo da se ogleda u tome što peskolovi kod postrojenja sa lagunama mogu biti tehnički povezani sa mastolovom.

Separacija masti i ulja mastolovom predstavlja postupak uklanjanja emulgovanih masti i ulja u posebnom bazenu, na bazi iskorišćenje usporenja otpadne vode u peskolovu, tako što se preko obodnog preliva i evakuacionog kanala "skida" deo površinskog sloja iz bazena, povremeno preko promenljivog preliva, ili kontinuirano preko fiksnog preliva.

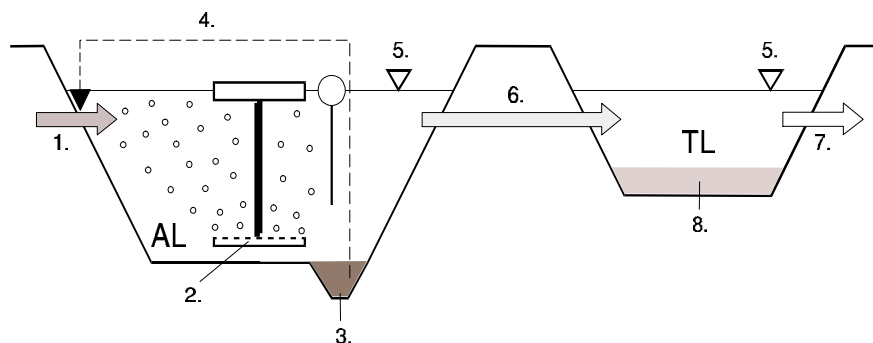
Ovaj uređaj je specifičan za sistem postrojenja sa lagunama, dok se kod kompaktnih postrojenja retko sreće.

3.1.4.2. Tretman otpadne vode

Tretman otpadne vode u postrojenju sa lagunama se sastoji od dva dela (slika 49):

- aerobne obrade otpadne vode i aerobne, ili produžene stabilizacije mulja u aerisanim lagunama
- separacije prečišćene otpadne vode od otpadnog mulja u muljnim (taložnim) lagunama

Slika 49 - Aerisana laguna sa taložnom lagunom i recirkulacijom mulja



AL - aeraciona laguna

TL - taložna laguna

1. dovod otpadne vode
2. sistem za aeraciju
3. muljna jama
4. povratni mulj
5. nivo vode u lagunama
6. preliv izbistrene vode
7. odvod efluenta
8. izreagovani mulj

3.1.5. Polazne osnove za projektovanje postrojenja sa lagunama

3.1.5.1. Kapacitet postrojenja

Postrojenje se uobičajeno projektuje za kapacitet izražen u ekvivalentnim stanovnicima (N_{ES}), koji se procenjuje na bazi dotadašnjih postojećih popisa stanovništva kao i procene razvoja stanovništva.

Izgradnja postrojenja se uobičajeno planirana u fazama, u skladu sa dinamikom izgradnje kanalizacionog sistema.

– Hidraulički kapacitet postrojenja

Na osnovu broja ekvivalentnih stanovnika za postrojenje (N_{ES}) i specifične količine otpadne vode po ES za postrojenje od ($q_{ES}=200-250$ l/ES na dan) dobija se prosečno dnevno hidrauličko opterećenje:

$$Q_{sr}^d (m^3 / dan) = N_{ES} \cdot q_{ES}$$

Maksimalni satni kapacitet otpadnih voda za novelirano postrojenje se dobija množenjem prosečnog dnevnog opterećenja i koeficijenta ukupne neravnomernosti K_u . U projektu se može usvojiti koeficijent ukupne neravnomernosti K_{op} , ili se može odrediti, pa maksimalni dnevni hidraulički kapacitet iznosi:

$$Q_{max}^d (l / s) = Q_{sr}^d \cdot K_{op}$$

– Biološko opterećenje postrojenja

Za proračun organskog opterećenja kombinovanih otpadnih voda uzima se vrednost specifičnog organskog opterećenja od ($g_{ES}=60-80$ gBPK₅/ES na dan), pa ukupno biološko opterećenje za projektovano postrojenje iznosi:

$$B_u (kgBPK_5 \text{ na dan}) = \frac{N_{ES} \cdot g_{ES}}{1000}$$

Potreban kvalitet efluenta (tretirane otpadne vode) pre upuštanja u recipijent se uobičajeno normira na sledećem nivou parametara:

- $C_{BPK_5} < 20$ mg/l
- $SM < 30$ mg/l

Projektovani stepen prečišćavanja komunalnih otpadnih voda u postrojenju (efikasnost postrojenja) se uobičajeno planira u visini 95% BPK₅.

3.1.5.2. Materijalni bilans i hidraulički proračun

U sklopu tehnološke linije tretmana komunalnih otpadnih voda sistemom postrojenja sa lagunama najčešće se nalaze sledeće pozicije:

- gruba rešetka
- stanica za primarno dizanje vode, sa muljnom pumpom
- postrojenje sa automatskom rešetkom i zaobilazi vod sa ručnom rešetkom

- gravitacioni aerisani peskolov
- mastolov
- merni kanal
- prvostepena bioaeraciona laguna sa recirkulacijom aktivnog mulja mamut pumpama (AL-I)
- drugostepena bioaeraciona laguna (AL-2)
- dve paralelno postavljene muljne (taložne) lagune (T-1 i T-2)
- evakuacioni kanal efluenta sa meračem protoka

Hidraulički proračun za sve elemente i uređaje su detaljno objašnjeni u Poglavlju III, na primeru kompaktnih sistema.

Stoga se u ovom delu nećemo zadržavati na detaljima hidrauličkog proračuna, jer su sva postrojenja i uređaji identični kao kod kompaktnih postrojenja i identično se proračunavaju, osim mastolova i samih laguna.

Međutim, za same lagune se ne rade posebni hidraulički proračuni, već se rade hidraulički proračuni potrebnih nivoa duž postrojenja. Kako su ulazi u lagune, kao i izlazi iz laguna mahom cevni, ređe kanalni, to kod hidrauličkih proračuna laguna treba izvršiti proračun ulazno - izlaznih cevnih elemenata, eventualno kanala. Hidraulički proračuni cevnih elemenata i kanala su detaljno objašnjeni u Poglavlju III.

Hidraulički proračun mastolova bazira na hidrauličkom proračunu preliva na betonskom bazenu, što je takođe detaljno objašnjeno u Poglavlju III, naravno ne na mastolovu, već na građevinski sličnim betonskim delovima postrojenja kod kompaktnih postrojenja.

Ako se neko opredeli za proračunavanje sistema postrojenja sa lagunama za tretman komunalnih otpadnih voda, kompletan prikaz hidrauličkog proračuna svakog potrebnog detalja, a za veći deo postrojenja i kompletnih postrojenja, može naći u Poglavlju III.

Takođe materijalni bilansi i dimenzionisanje uređaja i opreme iz predtretmana kod sistema postrojenja sa lagunama su kompletno opisani u Poglavlju III, na primeru kompaktnih sistema. Kako su uređaji isti i kod postrojenja sa lagunama i kod kompaktnih postrojenja, mogu se primeniti i isti materijalni bilansi i dimenzionisanja.

Jedino se razlikuje materijalni bilans i dimenzionisanje mastolova i samih laguna, čega nema u Poglavlju III, pa će u ovom delu biti objašnjeno samo dimenzionisanje i bilansiranje mastolova i laguna u sistemu postrojenja sa lagunama za tretman komunalnih otpadnih voda.

– Mastolov

Projektom se mogu predvideti jedan ili dva mastolova, koji najčešće predstavljaju konstrukcije u vidu ukopanih otvorenih bazena, odnosno podužnih betonskih rezervoara. Ako se postrojenje gradi fazno mastolovi se projektuju kao nezavisni objekti, a ako se gradi kompletno, mastolovi se mogu uklopiti u projektu zajedno sa peskolovom.

Mastolovi se projektuju kao uski, dugački kanali, uobičajene dubine od 2 m. Vreme zadržavanja u mastolovu treba da iznosi od 5 - 8 min. Površinsko opterećenje mastolova se uobičajeno kreće oko vrednosti $Q_v = 3.00 \text{ mm/s}$, čime se garantuje ukljanjanje čestica čiji je prečnik veći od 0.2 mm, ako je gustina ulja 0.85 t/m^3 .

Potrebna horizontalna površina mastolova se sračunava iz izraza:

$$P_M (\text{m}^2) = \frac{Q_{\max}^d}{Q_v}$$

Treba predvideti da se izdvojene masnoće zajedno sa ostalim otpadom sa mehaničkog tretmana otpadne vode odvođe se na gradsku deponiju.

– Aerisane lagune

U aerisanim lagunama (jedna ili dve) vrši se aerobna obrada otpadne vode i aerobna stabilizacija otpadnog mulja.

Aerisane lagune su uobičajeno ukopani četvorougaozni zemljani bazeni zakošenih ivica, sa hidroizolovanim dnom, najčešće se slojem gline, ili plastičnom folijom.

Doziranje kiseonika se vrši dubinskom aeracijom, najčešće pomoću paralelnih pruga (jedne ili dve) redno vezanih baterije potopljenih difuzora vazduha, postavljenih najčešće po dužoj strani laguna.

Ako je sistem postrojenja sa lagunama sastavljen od dve bioeracione lagune, u prvom se obavezno vrši prinudna aeracija vode (aerisana laguna). Prinudno aerisanje otpadne vode, koja je pomešana sa povratnim muljem i aktivnom masom mikroorganizama, u aeracionoj laguni AL-I se vrši sa difuzorom tipa difuzorskih štapova, postavljenih vertikalno, tako da vise do nešto iznad dna.

U drugoj bioeracionoj laguni AL-II može (aerisana laguna sa prinudnom aeracijom), a ne mora biti prinudne aeracije (aerobna laguna sa prirodnom aeracijom). U prvom slučaju je aerobna stabilizacija mulja tipa produžene aeracije, a u drugom slučaju tipa naknadne stabilizacije. Kod prinudne aeracije se aeracija takođe vrši sa difuzorom tipa difuzorskih štapova do nešto iznad dna, pri čemu se aeriše otpadna voda, dovedena iz prve aerisane lagune AL-I, bez mešanja sa povratnim muljem.

Eksperimentalna istraživanja su pokazala da se najbrže aerisanje otpadnih voda postiže uduvanjem finih - sitnih mehurića vazduha na većoj dubini vode, čime se povećava dužina puta vazduha kroz vodu. To saznanje se primenjuje u procesu aerisanja laguna.

Objasnićemo tehnološki postupak prečišćavanja otpadne vode u bioeracionim lagunama sa dve bioeracione lagune.

U prvom laguni se vrši recirkulacija aktivnog mulja i biološko prečišćavanje otpadne vode do kvaliteta koji se izražava smanjenjem organskog opterećenja u iznosu od 80% izraženog kroz kg BPK₅ na dan.

U drugoj bioeracionoj laguni nije predviđena recirkulacija mulja i u njoj se prečišćava preostali deo organskog opterećenja.

U lagunama se aerisanje otpadne najčešće vode vrši pomoću duboko položenih aeratora. Broj i raspored aeratora u svakoj od bioeracionih laguna se određuje na osnovu potrebne količine kiseonika odnosno vazduha.

Dobre rezultate za aerisanje komunalnih otpadnih voda u lagunama, od baterija potopljenih difuzora, postižu keramički aeratori, montirani na krajevima vruće pocinkovanih cevi, čija dužina zavisi od dubine laguna, koje su u vezi sa elastičnim cevovodom, plastičnim crevom za razvod vazduha koji pluta po površini vode lagune.

Plastično crevo se na mestima odvajanja cevi za aerator ojačava i pričvršćuje za plovke koji omogućavaju da lanci formirani od plastičnog creva, pocinkovanih cevi i aeratora plivaju po površini lagune. Sem plovka, lance za aerisanje na površini održava i sajla koja se postavlja od jednog kraja lagune do drugog i vezuje se za sidrište.

U bioeracionim lagunama se vrši intenzivno mešanje i aerisanje vazduhom koji izlazi iz keramičkih aeratora. Intenzivno mešanje poboljšava razmenu kiseonika na granici gasovite i tečne faze, omogućava intenzivni kontakt otpadne vode sa aktivnim muljem i sprečava pojavu mrtvih neaerisanih zona u lagunama, a u kojima bi se odvijali septički procesi.

Na izlazu iz prve bioeracione lagune postavlja se produbljenje dna lagune i vrši se formiranje armirano betonskog taložnika u kome se vrši istaložavanje aktivne mase mikroorganizama i povratnog mulja. Taložnik je istovremeno crpilište za mamut pumpe kojima se povratni mulj prepumpava u sabirni kanal i odatle gravitaciono posebnim cevovodom vraća na ulaz u ulaznu šahtu - ulivnu građevinu, ispred bioeracione lagune, gde se meša sa svežom otpadnom vodom. Ovako pomešana sirova otpadna voda, aktivna masa mikroorganizama i povratni mulj se zajedno upuštaju u lagunu.

Taloženje povratnog mulja se može pospešiti se gumenim armiranim platnima koja se obese takođe o plovke i postavljaju po gabaritu zone taloženja aktivnog mulja u laguni.

Recirkulacija mulja se ne mora permanentno raditi, već po potrebi, kada kvalitet prečišćenje vode ne bude odgovarao zahtevanim normama kvaliteta efluenta.

Otpadna voda iz bioaeracionih laguna se preko sistema prelivnih i ulivnih organa, kao i sistema obilaznih cevovoda (obilazne kanalizacije) odvodi u taložne lagune u kojima se vrši taloženje razgrađenih organskih materija.

Površina vodenog ogledala aerisanih aerobnih laguna se izračunava preko specifične površine P_{spec} (od 1-1.5 m²/ES) i normiranog kapaciteta N_{ES} .

$$P(m^2) = N_{ES} \cdot P_{spec}$$

Zapremina bioaeracionih laguna se određuje iz ukupnog masenog opterećenja lagune muljem i usvojenog prostornog opterećenja muljem.

Bioaeracione lagune se dimenzionišu na bazi odnosa kapaciteta kanizacionog sistema (ukupnog organskog opterećenja otpadne vode) i usvojene tehnologije obrade otpadne vode (prostornog opterećenja bazena). Osnovni parametar, koji se pri dimenzionisanju bioaeracionog bazena određuje, predstavlja potrebna zapremina bioaeracionog bazena za postavljanje određenog tipa tehnologije obrade otpadne vode.

Za aerisane aerobne lagune teorijsko prostorno opterećenje muljem se kreće u opsegu od $B_v = 0.01-0.03$ kgBPK₅/m³ na dan.

$$V_{AL} (m^3) = \frac{B_u}{B_v}$$

Projektom treba predvideti za prvu bioaeracionu lagunu AL-I prostorno opterećenje, u zavisnosti od očekivanog efekta prečišćavanja (uobičajeno od 75-80%).

Projektom treba predvideti za drugu bioaeracionu lagunu AL-II razliku ukupnog prostornog opterećenja i prostornog opterećenja prve bioaeracione lagune AL-I, u zavisnosti od očekivanog efekta prečišćavanja (uobičajeno od 15-20%).

Sumarna zapremina aerobnih laguna AL-I i AL-II iznosi:

$$V_{AL} (m^3) = V_{AL-I} + V_{AL-II}$$

Potrebna količina kiseonika se preračunava iz ukupnog preračunatog organskog opterećenja B_u , specifične potrošnje vazduha C_{spec} (za aerisane aerobne lagune iznosi oko 1.5 kgO₂/kgBPK₅) i maksimalnog satnog kapaciteta (Q_{max}^h), a potrebna količina vazduha iz potrebne količine kiseonika i specifičnog unosa kiseonika vazduhom ($Q_{spec} = 9$ gO₂/Nm³ vazduha).

$$Q_v (m^3 / h) = \frac{Q_{O_2}}{Q_{spec}} = \frac{B_u \cdot C_{spec}}{Q_{max}^h} = \frac{B_u \cdot C_{spec}}{Q_{max}^h \cdot Q_{spec}}$$

Potrebna broj aeratora, kapaciteta Q_{aer} (karakteristika uređaja), za izračunatu količinu vazduha iznosi:

$$n = \frac{Q_v}{Q_{aer}}$$

Vreme zadržavanja u aerisanoj aerobnoj laguni treba da bude:

$$\tau(\text{dan}) > 3$$

Idealno vreme zadržavanja u aerisanim aerobnim lagunama iznosi oko nedelju dana. Kao što se odmah može videti, angažovana površina pod lagunama je jako velika, tako da je zauzimanje zemljišta izuzetno značajan faktor u sistemima postrojenja sa lagunama.

– **Muljne (taložne) lagune**

Taloženje kombinovanog primarnog i viška aktivnog mulja iz tretirane vode se vrši u ukopanoj četvorougaoj zemljanoj muljnoj laguni (taložna laguna). Voda se iz taložne lagune odvodi preko regulisanog preliva - ustave u recipijent, a mulj se zadržava u muljnoj laguni.

Posle određenog vremenskog perioda, najčešće se planira do 1 godine, dolazi do delimičnog ispunjavanju lagune muljem.

Tada se isključuje taložna laguna iz funkcije taloženja (T-1) i uključuje se druga taložna laguna u funkciju taloženja (T-2). Taložna laguna T-1 se maksimalno isprazni od vode preko regulisanog preliva - ustave, pa se ostavi da se mulj prirodno isuši.

Kada se mulj prirodnim putem dovoljno isuši mehanički se evakuše iz lagune i odnosi se na određite konačnog odlaganja.

3.1.5.3. Tercijarna obrada otpadne vode

Tercijarna obrada kod projektovanja postrojenja sa lagunama treba najmanje da predvidi mogućnost dezinfekcije efluenta, efikasnosti prema potrebi, kao i na osnovu zahteva inspeksijskih organa, a sve u zavisnosti od kvaliteta i kapaciteta recipijenta.

Nitrifikacija, pa samim tim i denitrifikacija, u aerisanim i muljnim lagunama kod postrojenja sa lagunama nisu mogući u sadašnjim tehničkim uslovima, tako da se, ako je to neophodno, nitrifikacija i denitrifikacija moraju vršiti u formi tercijarne obrade.

Nitrifikacija - denitrifikacija, kao i defosforizacija, po pravilu nisu zastupljene kod postrojenja sa lagunama, što se može donekle pravdati malim kapacitetom postrojenja (< 15 000 ES), osim ako recipijent spada u eutrofičnu grupu površinskih voda. Za sve veće kapacitete bi se morala u obzir uzimati i tercijarna obrada otpadnih voda i u sistemu postrojenja sa lagunama.

Ukoliko se mora kod sistema postrojenja sa lagunama postavljati tercijarna obrada, najbolje je da bude na nivou biološke obrade, odnosno biološke nitrifikacije - denitrifikacije i defosforizacije, što bi se takođe moglo postavljati u drugoj aerisanoj laguni, kao i u trećoj laguni za tercijarnu obradu, postavljenoj iza muljne lagune.

3.1.5.4. Obrada mulja

Pošto primenjena tehnologija kod sistema postrojenja sa lagunama nema dovoljnu koncentraciju aktivne mase mikroorganizama da bi se postupak vodio po tehnologiji sa aktivnim muljem, to je i prinos aktivnog mulja značajno niži od prinosa iz kompaktnih postrojenja.

Mulj se kod sistema postrojenja sa lagunama posebno ne stabilizuje i ne obrađuje (nema linije mulja), pošto se predpostavlja visoka stabilizacija mulja u lagunama u toku dugog vremena zadržavanja u aerisanim lagunama (nekoliko dana), a posebno u muljnim lagunama (od 1 - 10 godina).

Kada se muljna laguna dovoljno napuni muljem, isključuje se iz sistema postrojenja i iz muljne lagune se evakuše nadmuljna voda preko preliva, tako da u muljnoj laguni zaostaje žitki mulj.

Sušenje žitkog mulja iz muljne lagune se vrši prirodnim isušivanjem na vazduhu tokom dužeg vremenskog perioda.

Evakuacija i odnošenje osušenog mulja se vrši mehaničkim čišćenjem taložne lagune.

3.1.5.5. Neki problemi na postrojenjima sa lagunama**– Problemi usled nanosa**

Muljni nanosi, do kojih povremeno dolazi u kanalizacionim sistemima, posebno posle intenzivnih i obimnih atmosferskih padavina, visoko opterećuju uređaje predtretmana kod sistema postrojenja sa lagunama.

Pesak, prisutan u velikoj količini u nanosu, ne samo da blokira, nego i oštećuje potopljene centrifugalne pumpe u crpnoj stanici za primarno dizanje, tako da je tehničko rešenje sa potopljenim centrifugalnim pumpama u crpnoj stanici za primarno dizanje sa navedenog stanovišta kritično.

Sa istog aspekta je bolje koristiti pužne pumpe u crpnoj stanici za primarno dizanje.

Ova problematika još uslovljava i ozbiljnije tehničko rešenje na poziciji separacije peska, pa treba postavljati aerisane peskolove sa evakuacijom istaloženog peska iz peskolova pumpama i mehaničkom separacijom izdvojenog peska.

Svako drugo rešenje, na primer tipa jame za gravitacionu separaciju peska postavljene u sklopu iste betonske konstrukcije sa peskolovom, ili sličnih, kao i neodgovarajuće konstrukcije i tipa peskolova, neminovno će dovesti do povremenih izbacivanja iz rada peskolova.

Eventualni prodor nanosa (peska) u bioaeracione lagune predstavlja veliki problem za dalji rad celog postrojenja.

– Problemi pH i ćelijskih otrova

U postrojenjima sa aerisanim lagunama osnovni biološki proces bazira na metabolizmu aktivne mase aerobnih mikroorganizama, koji su veoma osetljivi na hemijske karakteristike vode, više nego kada su u formi čestica aktivnog mulja.

Usled toga je problem ulaznog pH i problem sadržaja ćelijskih otrova, najčešće proukovanih hidrauličkim "udarima" industrijskih otpadnih voda u kanalizacionim vodama, vrlo ozbiljan, te mu se mora posvećivati i odgovarajuća pažnja prilikom projektovanja postrojenja sa lagunama.

Poželjno je postaviti automatske pH-metre na sabirnoj šahti na kraju kolektora, kao i manje postrojenje za neutralizaciju kanalizacione vode (zakišeljavanje, ili alkalisanje, zavisno od potrebe), pre uvođenja otpadne vode u samo postrojenje.

U slučaju većeg sadržaja ćelijskih otrova u kanalizacionoj vodi jedino realno rešenje na postrojenjima sa lagunama je baj-pas vode mimo postrojenja, posebno mimo aerisanih laguna.

U protivnom, neodgovarajući pH, ili veliki sadržaj ćelijskih otrova, mogu značajno redukovati aktivnu masu mikroorganizama, pa čak je u ekstremnim situacijama i potpuno uništiti, tako da bioaeracione lagune mogu biti isključene iz funkcije danima, pa čak i nedeljama, a da se to ne može vizuelno tako lako konstatovati.

3.2. Sistemi kompaktnih postrojenja (sa aktivnim muljem)

3.2.1. Istorijat kompaktnih postrojenja

Istorijat kompaktnih postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, ili postrojenja sa aktivnim muljem su nešto ranije počela da se razvijaju od postrojenja sa lagunama.

Prvi koraci datiraju od početka veka, od pronalaska postupka sa aktivnim muljem od strane Arden-a i Lockett-a 1914. god. u Mančesteru u Engleskoj.

Između dva rata su se postrojenja sa aktivnim muljem paralelno razvijala za komunalne otpadne vode i za industrijske otpadne vode i dostignuti su zavidni rezultati, kada se praktično i formirao osnovni tehnološki pristup, koji se do pre nekoliko godina nije suštinski izmenio, osim što su izrađene mnoge varijante tehnologije, pre svega zavisno od opterećenja postrojenja.

Tokom poslednjih tri-četiri decenije prešlo se na forsiranje kompaktnih sistema u odnosu na sisteme sa lagunama zbog čitavog niza prednosti koje ova postrojenja imaju nad postrojenjima sa lagunama, sa stanovišta potrebnih operacija i regulacije za tretman komunalnih otpadnih voda.

To je pre svega bilo iz razloga male efikasnosti, kao i nebrojenih problema koji su se javljali kod postrojenja sa lagunama, pre svega pri povećavanju potrebnih kapaciteta postrojenja.

Danas svako naselje ozbiljnijeg kapaciteta, kao i ozbiljnijih razvojnih planova, postavlja kompaktne sisteme za tretman komunalnih otpadnih voda.

U poslednjoj deceniji, a pre svega poslednjih godina, dolazi i do značajnog napretka, ne samo u tehnici, nego i u samom tehnološkom pristupu problemu, pa se sve više radi na usavršavanju osnovnog tehnološkog postupka u obradi komunalnih otpadnih voda, biološkom obradom.

3.2.2. Karakter kompaktnih postrojenja

Sistemi kompaktnih postrojenja za tretman komunalne otpadne vode spadaju po tehnološkoj suštini u protočne sisteme za tretman otpadnih voda, koji se sastoje od linija tokova osnovnih otpadnih fluida, linije otpadne vode i linije otpadnog mulja.

Po karakteru rada postrojenja sa lagunama spadaju u tehničke sisteme.

Po biološkom tretmanu, osnovnoj obradi u okviru tehnološke postavke, kompaktni sistemi su razvili čitavu lepezu tehnoloških pristupa aerobnih tretmana sa aktivnim muljem, zavisno od hidrauličkog opterećenja postrojenja, od sistema sa aerobnim tretmanom tipa produžene aeracije sa niskim organskim i hidrauličkim opterećenjem, sa zajedničkim tretmanom vode i mulja u većem delu postupka, do visoko opterećenih sistema, sa jasno izdiferenciranim, kako linija vode i mulja, tako i izdiferenciranim delovima obrade.

Obrada je izdiferencirana, prema upotrebljenim tehnologijama i metodama kao što su:

- primarna obrada - fizička i fizičko-hemijska obrada, mahom mehanička, ili sa ciljem mehaničkog uklanjanja nepodobnih sadržaja za biološku obradu
- sekundarna obrada - biološka obrada otpadnih voda bez obrade otpadnog mulja
- tercijarna obrada - korektivna obrada tretiranih otpadnih voda, prema zahtevima recipijenta, pre svega u cilju uklanjanja nutrijenata, regulisanja fizičkih i hemijskih karakteristika efluenta i korekcije zadatih parametara obrade (BPK5, HPK, kondicioniranje vode i slično)
- obrada mulja - anaerobna obrada mulja, kao potpuno odvojeni deo kompaktnih procesa

Osnovna karakteristika sistema kompaktnih postrojenja je odvojeni tretman otpadne vode i otpadnog mulja, bilo od samog početka pa do kraja procesa (kod velikih postrojenja), bilo makar u finalnoj fazi procesa (kod malih postrojenja), tako da su jasno izdiferencirane linija vode i linija mulja, pa je mogućnost nezavisnog upravljanja tokovima vode i mulja najveća prednost ovih sistema.

3.2.3. Upotreba kompaktnih postrojenja

Sistemi kompaktnih postrojenja su univerzalne upotrebe, zahvaljujući širokom spektru tehnoloških rešenja, od ekstremno malih postrojenja (1 000 ES), pa do ekstremno velikih postrojenja ($n \times 100\,000$ ES).

Koriste za prečišćavanje komunalnih i biološki visoko opterećenih industrijskih otpadnih voda, kapaciteta od 1 000 - $n \times 100\,000$ ES.

Efekat prečišćavanja koji se može dostići u sistemu kompaktnih postrojenja je $> 95\%$ u odnosu na BPK_5 .

3.2.4. Tehnološka postavka kompaktnih postrojenja

3.2.4.1. Primarna obrada otpadne vode

Primarna obrada otpadne vode u sistemu kompaktnih postrojenja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda predstavlja pre svega mehanički tretman sirove otpadne vode, kako bi se uklonile mehaničke primese, koje ometaju tehnologiju biološke obrade, a takođe i kako bi se, kod većih postrojenja, izvršila separacija primarnog mulja od otpadne vode, pre biološke obrade.

Tako se primarna obrada kod kompaktnih postrojenja uobičajeno sastoji od:

- separacije grubim rešetkama
- stanica za primarno dizanje otpadne vode
- separacije automatskim rešetkama
- separacije peska peskolovom
- separacije primarnog mulja dekanterom

Separacija grubim rešetkama predstavlja neophodnu zaštitu pužnih ili centrifugalnih muljnih pumpi za primarno dizanje od grubog komadnog čvrstog otpada u komunalnoj otpadnoj vodi, kao i vodova i uređaja u daljem toku.

Stanica za primarno dizanje otpadne vode je ulazna pozicija u kompaktnom postrojenju, gde se mešaju komunalne otpadne vode i otpadne vode takozvane interne kanalizacije sa postrojenja, s' tim što se češće koriste pužne nego centrifugalne muljne pumpe za podizanje otpadne vode na radni nivo, odakle se otpadna voda dalje kreće gravitaciono.

Separacija automatskim rešetkama predstavlja neophodnu zaštitu daljih uređaja i opreme, pre svega dekantera i transportnih i evakuacionih sistema za vodu, od plivajućih komadnih primesa.

Separacija peska peskolovom predstavlja neophodnu zaštitu svih mašina, delova i sklopova u daljem toku procesa od habanja peskom, kao i od nanosa inertnog sedimenta koji bi se sakupljao u taložnicama i biološkim bazenima, pre svih u primarnom taložniku, čime bi se značajno ugrozio dalji tretman mulja u okviru linije mulja, koja počinje praktično iz primarnog taložnika.

Separacija primarnog mulja dekanterom predstavlja operacija gravitacionog razdvajanja tokova mulja i otpadne vode, kako bi se dalje nezavisno tretirali u okviru kompaktnog postrojenja.

Ova pozicija kod malih postrojenja, odnosno kod postrojenja sa produženom aeracijom i produženom aerobnom stabilizacijom mulja nije zastupljena, pošto se otpadna voda i otpadni mulj kod tih postrojenja zajednički aerobno tretiraju.

3.2.4.2. Sekundarna obrada otpadne vode

Sekundarna obrada otpadne vode u sistemu kompaktnih postrojenja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda predstavlja pre svega biološki tretman sirove otpadne vode dejstvom mikroorganizama (aktivni mulj), kako bi se uklonile biodegreabilne organske primese, koje ometaju tehnologiju biološke obrade, a takođe i kako bi se izvršila separacija aktivnog mulja od otpadne vode, pre finalne obrade.

Tako se sekundarna obrada kod kompaktnih postrojenja uobičajeno sastoji od:

- biološki tretman aktivnim muljem u bioaeracionim bazenima
- separacija aktivnog mulja od tretirane vode dekanterima
- povratni transport mulja na biološki tretman

Biološka obrada aktivnim muljem u bioaeracionim bazenima predstavlja osnovni tehnološki postupak obrade komunalnih otpadnih voda.

Ova problematika je detaljno razmatrana na početku ovog poglavlja, pa ovde neće biti elaborirana.

Separacija aktivnog mulja dekanterom predstavlja operaciju gravitacionog razdvajanja tokova mulja i otpadne vode, kako bi se mulj mogao vraćati nazad u proces (povratni mulj) na bioaeracione bazene, a tretirana voda se mehanički prečistila pre konačne obrade.

Povratni transport mulja na biološki tretman predstavlja operaciju zasejavanja otpadne vode sa aktivnim muljem pre postupka biološke obrade, a vrši se istim pumpama, samo manjeg kapaciteta, kao i za primarno dizanje otpadne vode.

Iz transporta povratnog mulja se povremeno evakuiše fizički višak mulja, mahom izreagovalog i mineralizovanog aktivnog mulja, koji se odvodi na tretman mulja, zajedno sa primarnim muljem, kada se vrši separacija primarnog mulja.

3.2.4.3. Tercijarna obrada otpadne vode

Tercijarna obrada otpadne vode u sistemu kompaktnih postrojenja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda predstavlja pre svega korektivni tretman prerađene otpadne vode, hemijskim metodama ili dejstvom mikroorganizama, kako bi se iz tretirane otpadne vode uklonili nutritijenti (azotne i fosforne materije), izvršila dezinfekcija i regulacija pH efluenta, izvršile korekcije prethodnih tretmana (BPK₅, HPK i slično), kao i izvršilo kondicioniranje tretirane otpadne vode pre upuštanja u recipijent.

Tercijarna obrada otpadnih voda se ne mora postavljati kompletno, već se mogu pojedine, mahom neophodne korektivne operacije, postavljati kao korektivna obrada efluenta, najčešće dezinfekcija i korekcija pH efluenta.

Tercijarna obrada kod kompaktnih postrojenja uobičajeno se sastoji od:

- nitrifikacije-denitrifikacije efluenta, najbolje sa biološkim tretmanom u posebnim bioaeracionim bazenima
- defosforizacije efluenta, najčešće hemijskom precipitacijom i sedimentacijom u bazenu
- hemijske dezinfekcije efluenta, mahom hlorom i njegovim derivatima
- korekcije pH, mahom rastvorom kreča ili alkalne baze
- dezodorizacije sadržaja kiseonika u efluentu

Tercijarna obrada je detaljno obrađena na početku ovog poglavlja, te se neće šire elaborirati u ovom delu.

3.2.5. Polazne osnove za projektovanje postrojenja sa lagunama

3.2.5.1. Kapacitet postrojenja

Postrojenje se uobičajeno projektuje za kapacitet izražen u ekvivalentnim stanovnicima (N_{ES}), koji se procenjuje na bazi dotadašnjih postojećih popisa stanovništva kao i procene razvoja stanovništva.

Izgradnja postrojenja se uobičajeno planirana u fazama, u skladu sa dinamikom izgradnje kanalizacionog sistema.

– Hidraulički kapacitet postrojenja

Na osnovu broja ekvivalentnih stanovnika za postrojenje (N_{ES}) i specifične količine otpadne vode po ES za postrojenje od ($q_{ES}=200-250$ l/ES na dan) dobija se prosečno dnevno hidrauličko opterećenje:

$$Q_{sr}^d (m^3 / dan) = N_{ES} \cdot q_{ES}$$

Maksimalni satni kapacitet otpadnih voda za novelirano postrojenje se dobija množenjem prosečnog dnevnog opterećenja i koeficijenta ukupne neravnomernosti K_u . U projektu se može usvojiti koeficijenta ukupne neravnomernosti K_{op} , ili se može odrediti, pa maksimalni dnevni hidraulički kapacitet iznosi:

$$Q_{max}^d (l / s) = Q_{sr}^d \cdot K_{op}$$

– Biološko opterećenje postrojenja

Za proračun organskog opterećenja kombinovanih otpadnih voda uzima se vrednost specifičnog organskog opterećenja od ($g_{ES}=60-80$ gBPK₅/ES na dan), pa ukupno biološko opterećenje za projektovano postrojenje iznosi:

$$B_u (kgBPK_5 na dan) = \frac{N_{ES} \cdot g_{ES}}{1000}$$

Potreban kvalitet efluenta (tretirane otpadne vode) pre upuštanja u recipijent se uobičajeno normira na sledećem nivou parametara:

- C_{BPK_5} < 20 mg/l
- SM < 30 mg/l

Projektovani stepen prečišćavanja komunalnih otpadnih voda u postrojenju (efikasnost postrojenja) se uobičajeno planira u visini 95% BPK₅.

3.2.5.2. Materijalni bilans i hidraulički proračun

Kompletan materijalni bilans i hidraulički proračun sistema kompaktnih postrojenja biće detaljno elaboriran u Poglavlju III ove publikacije, tako da se u ovom delu neće dalje elaborirati.

3.2.6. Postavka kompaktnih postrojenja

U okviru postavke kompaktnih postrojenja biće prezentirano par primera, bez šire razrade detalja, nekih razrađenih, ispitanih i postavljenih tipovi postrojenja iz svetske literature.

3.2.6.1. Ekstremno mala postrojenja - od 100 - 5 000 ES

– Postrojenja sa blok sistemima

Osnovni objekti uređaji u postrojenju za aerobni tretman vode i aerobnu stabilizaciju mulja su:

- pumpe za otpadnu vodu
- ručna rešetka
- peskolov
- bioeracioni uređaj (blok sistem)
- polja za sušenje mulja

Prepumpavanje otpadne vode se vrši pumpama velikih prečnika radi sprečavanja začepijavanja, obično se koriste potopljene pumpe, ili pužne pumpe

Za grubo ceđenje se koristi ručna rešetka, sa većim razmakom između šipki.

Peskolovi su najčešće pravougaoni, postavljeni kao nešto duža betonska proširenja na transportnom kanalu.

Kontinuirani tok vode - periodično izdvajanje mulja (slika 50)

Bioeracioni uređaj (blok sistem) je kompaktan uređaj za aerobni tretman otpadne vode, sedimentaciju mulja i aerobnu stabilizaciju mulja, u kome voda neprekidno prolazi kroz ciklus aeracije, separacije i produžene aeracije u jednom, ili dva reaktivna prostora, kružnog ili pravougaonog oblika sa konusnim dnom.

Aeracija se vrši neprekidno površinski ili turbo rotorima. Povratni mulj u zoni aeracije se obezbeđuje ili mešanjem, ili pri evakuaciji mulja. Evakuacija vode se vrši iz koncentrično postavljene komore, ili iz komore koja se ne aeriše (kod dvokomornih postrojenja). Evakuacija mulja se vrši povremeno iz konusnog dela postrojenja, ili iz neaerisane komore (kod dvokomornih postrojenja).

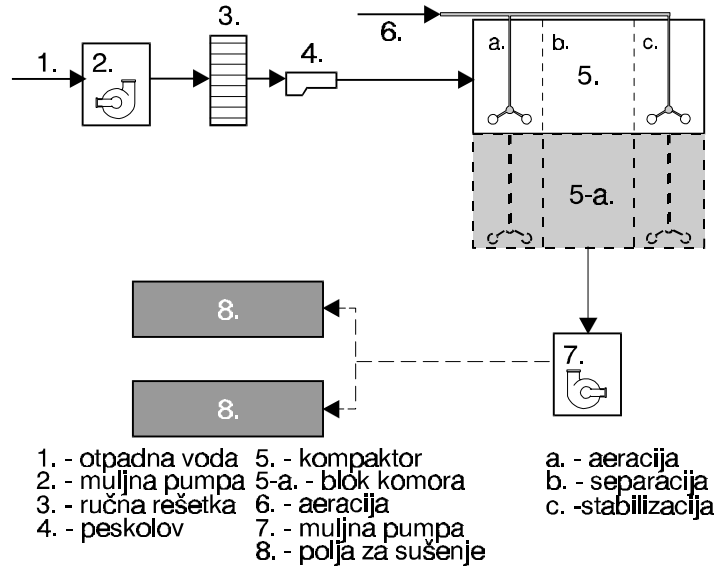
Periodični tok vode i mulja (slika 51)

Bioeracioni uređaj (blok sistem) je kompaktan uređaj sa promenljivim nivoom vode, pravougaonog oblika sa konusnim dnom, u kome se vrše po rednim ciklusima - operacije aerobnog tretmana otpadne vode, sedimentacije mulja i aerobne stabilizaciju mulja.

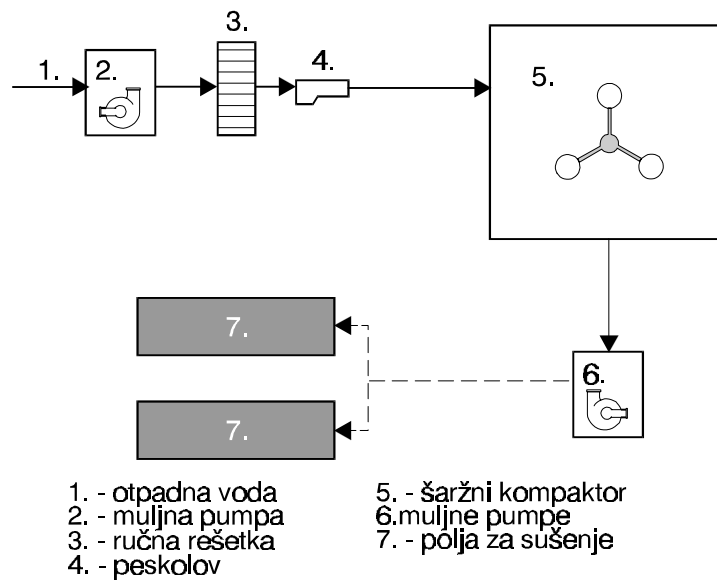
Voda prolazi kroz ciklus uvođenja u kompaktor uz aeraciju, do gornjeg nivoa vode, odležavanja u uređaju radi separacije mulja bez aeracije, i evakuacije iz kompaktora do donjeg nivoa vode. Aeracija se vrši neprekidno površinski ili turbo rotorima. Povratni mulj u zoni aeracije se obezbeđuje mešanjem vazduhom tokom aeracije. Aerobna stabilizacija povratnog mulja se vrši zadržavanjem mulja kroz nekoliko uzastopnih ciklusa aeracije vode. Evakuacija vode se vrši preko sabirnih cevi ili preliva. Evakuacija mulja se vrši povremeno iz konusnog dela postrojenja.

Aerobno stabilizovani mulj se suši na poljima za sušenje (do 500 ES), dok se kod većih kapaciteta (do 5 000 ES) može vršiti i hemijska stabilizacija, kao i anaerobna digestija mulja.

Slika 50 - Blok šema kontinuiranog blok sistema za aerobni tretman otpadne vode sa aerobnom stabilizacijom mulja



Slika 51 - Blok šema šaržnog blok sistema za aerobni tretman otpadne vode sa aerobnom stabilizacijom mulja



Kompaktni uređaji DIAPAC A.C. i DIAPAC U.I. (slika 52)

- opterećenost zapremine 0.3-0.5 kgBPK₅/m³·dan kod jednokomornog uređaja (DIAPAC A.C.), odnosno 0.2-0.35 kgBPK₅/m³·dan kod dvokomornih uređaja (DIAPAC U.I.)
- taloženje mulja od 4-6^h kod jednokomornih uređaja (DIAPAC A.C.), do 24^h kod dvokomornih dvokomornih uređaja (DIAPAC U.I.)

Kompaktni uređaji DIAPAC T.F. (slika 52)

- aerisanje (oko 30 min) i sedimentacija se automatski regulišu
- opterećenje zapremine od 0.3-0.5 kgBPK₅/m³·dan

Miniblok (slika 52)

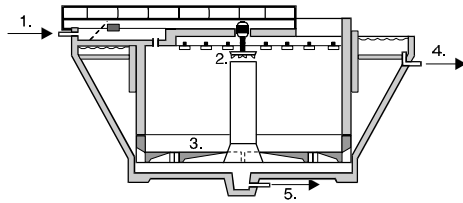
- kompaktno postrojenje sa odvojenim zonama:
 - * gruba rešetka
 - * aerisana zona
 - * zona sedimentacije
 - * zona aerobne stabilizacije mulja
- opterećenje zone aeracije je 1.5 kgBPK₅/m³·dan
- prosečna taložna brzina u zoni sedimentacije je oko, 0.5 m/h
- metalni uređaji za kapacitet od 100-500 ES, a betonski za kapacitete od 500-2 500 ES

Monoblok

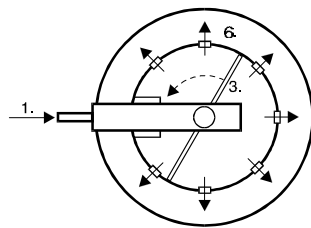
- postrojenja sa primarnim taloženjem, bakterijskim slojem i anaerobnim vrenjem mulja
- korito sa bakterijskim slojem je postavljeno u gornjem delu postrojenja
- primarna taložnica, komora za truljenje i klasifikator se nalaze na donjem delu postrojenja
- zone u postrojenju
 - * gruba rešetka u preduređaju
 - * peskolov u preduređaju
 - * primarna taložnica
 - * zona aeracije
 - * komora za anaerobni tretman mulja (komora za truljenje)
 - * klasifikator mulja (naknadna taložnica sa klasifikatorom za povratni mulj)
- planirano opterećenje od 500 -10 000 ES

Slika 52 - Šeme postrojenja sa bioaeracionim uređajima tipa mini blokova

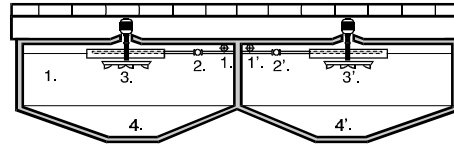
Koaksijalni kompaktor DIUPAC A.C.



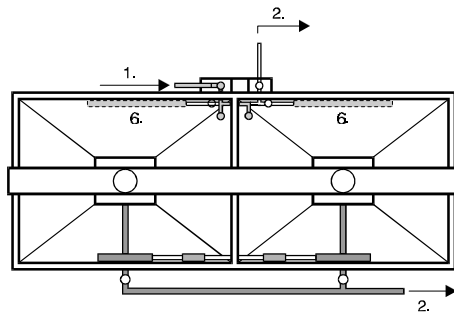
- 1.- dovod sirove vode 2.- aerator 3.- zgrtač mulja
4.- odvod vode 5.- odvod mulja 6.- koaksijalni kanal (preliv)



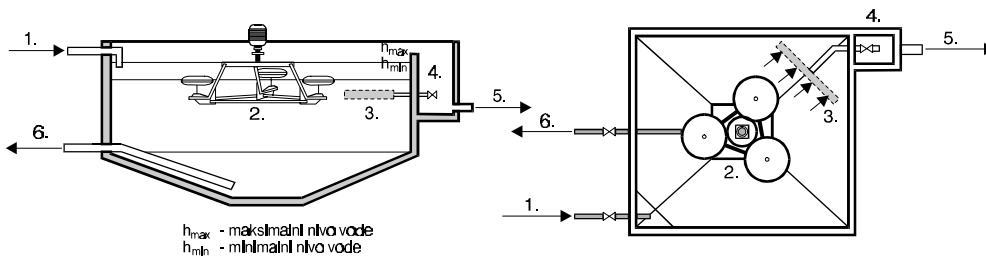
Dvokomorni kompaktor DIUPAC U.I.



- 1.- dovod sirove vode 2.- odvod vode 3.- aerator
4.- zona mulja 5.- odvod mulja 6.- prelivna cev



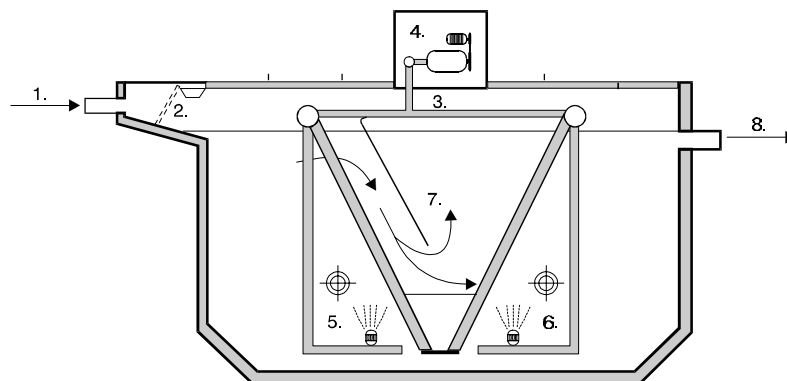
Šaržni kompaktor DIUPAC T.F.



h_{max} - maksimalni nivo vode
 h_{min} - minimalni nivo vode

- 1.- dovod sirove vode 2.- aerator 3.- prelivna cev
4.- prelivna komora 5.- odvod vode 6.- odvod mulja

Protočni kompaktor MINIBLOC



- 1.- dovod sirove vode 2.- rešetka 3.- aeracione cevi 4.- kompresor
5.- aeracija 6.- stabilizacija 7.- dekantovanje mulja 8.- odvod vode

3.2.6.2. Srednje stanice - od 5 000 - 50 000 ES**– Aerobni tretman otpadne vode i otpadnog mulja**

Osnovni uređaji u postrojenju za aerobni tretman vode i aerobnu stabilizaciju mulja su:

- gruba rešetka
- peskolov
- pumpe za otpadnu vodu
- bioaeracioni bazen
- naknadni taložnik (klarifikator)
- bazen za aerobnu stabilizaciju mulja
- polja za sušenje mulja

Za grubo ceđenje se koristi mehanička rešetka, a izdvojena masa sa rešetke se spaljuje u uređaju-peći za otpad na samom objektu.

Za uklanjanje peska se može koristiti bilo koji peskolov, najpodobnije aerisani peskolov.

Prepumpavanje otpadne vode se vrši potopljenim centrifugalnim ili pužnim muljnim pumpama, a ako nije izvršeno separisanje peska isključivo pužnim muljnim pumpama.

Za biološku obradu otpadne vode se koristi bioaeracioni bazen sa rotorima za vazduh, a koristi se u tehnologiji sa povratnim muljem, bioaeracioni bazen može biti samostalan uređaj, ili spojen u blok sa bazenom za aeracionu stabilizaciju mulja, kao blok aeracija.

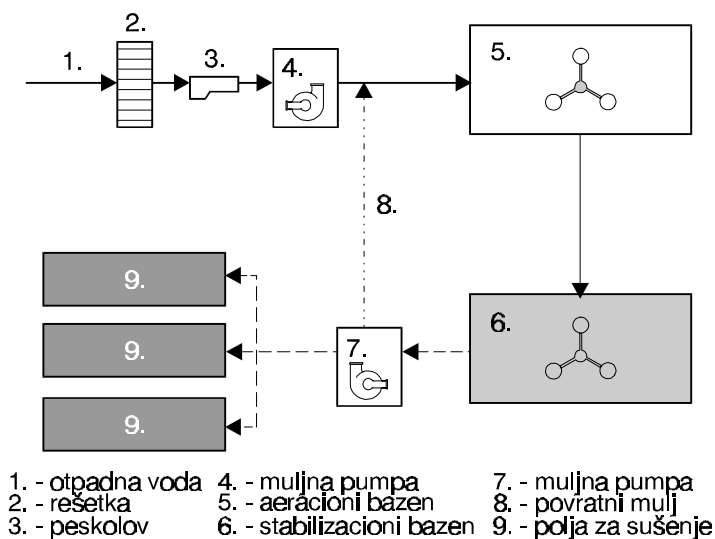
Naknadni taložnik (klarifikator) se koristi za bistrenje tretirane otpadne vode i sedimentaciju mulja, sa evakuacijom prerađene vode preko preliva, a evakuacijom mulja pomoću muljne pumpe. Muljna pumpa evakuše deo mulja iz klarifikatora u bazen za aerobnu stabilizaciju mulja, a deo kao povratni mulj za bioaeracioni bazeni.

Za stabilizaciju aktivnog mulja se koristi stabilizacioni bazen za aeraciju mulja sa rotorima, sa evakuacijom pene sa površine se koristi za aerobnu stabilizaciju mulja.

Polja za sušenje aerobno stabilizovanog mulja predstavljaju postrojenje za tretman mulja.

Postrojenje DIAPAC S.A.

Slika 45 - Blok šema postrojenja za aerobni tretman otpadne vode sa aerobnom stabilizacijom mulja

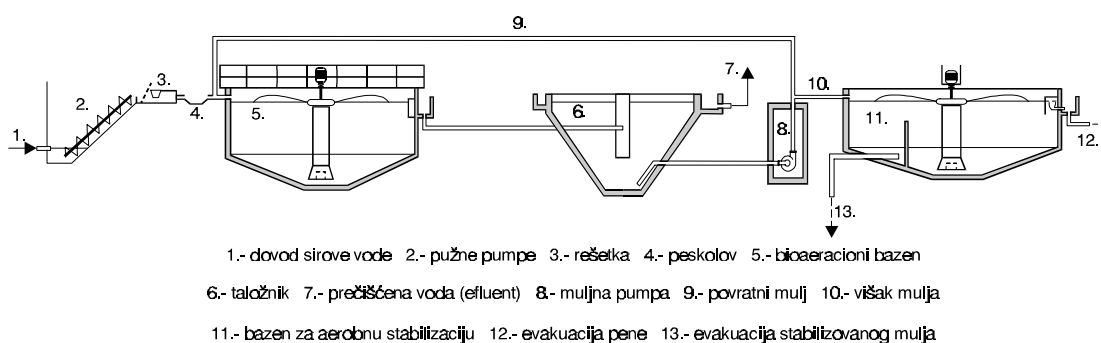


- zapreminsko opterećenje bazena za aeraciju 1-2 kgBPK₅/m³·dan
- zapremina bazena za stabilizaciju 25-50 l/ES
- površinsko opterećenje taložnika 1.2-2.5 m³/m²·h
- za proširivanje sistema se postavlja primarni taložnik za sveži mulj i višak mulja, stabilizovan na koncentraciju do 25 l/g

Tabela 3.2.1 - Dimenzionisanje osnovnih uređaja u postrojenju

Broj stanovnika	Dimenzija bloka aeracija-stabilizacija (m)	Prečnik taložnika (m)
3 000	8.5×17.0	6.0
5 000	15.0×15.0	7.5
8 000	18.5×18.5	10.5
12 000	16.0×32.0	11.5

Slika 54 - Tehnološka šema postrojenja DIAPAC S.A.



– Aerobni tretman vode i anaerobni tretman mulja

Varijanta I sa digestorom za mulj

Osnovni uređaji u postrojenju za aerobni tretman vode i anaerobno vrenje mulja su:

- gruba rešetka
- pužne pumpe za mulj (nisu obavezne)
- peskolov (nije obavezan)
- primarni taložnik
- bioaeracioni bazen
- naknadni taložnik
- digestor za mulj
- polja za sušenje mulja

Za grubo ceđenje se koristi mehanička rešetku, a izdvojena masa sa rešetke se spaljuje u uređaju-peći za otpad na samom objektu.

Za uklanjanje peska se može koristiti bilo koji peskolov, najpodobnije aerisani peskolov, peskolov nije obavezan.

Prepumpavanje otpadne vode se vrši potopljenim ili pužnim muljnim pumpama, a ako nije izvršeno separisanje peska isključivo pužnim muljnim pumpama, uređaj nije obavezan.

Primarni taložnik za sirovi mulj, četvorougao ili okrugli bazen, u koji se vraća otpadni mulj (višak mulja) iz naknadnog taložnika, zajedničko odvođenje mulja u muljnu šahtu.

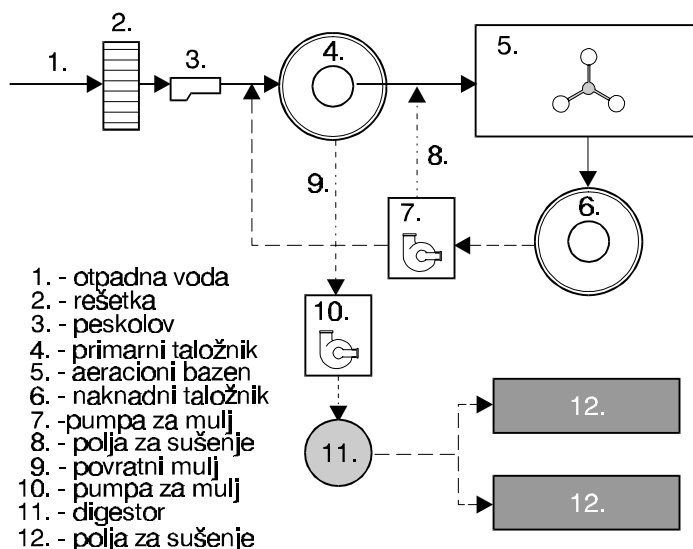
Za biološku obradu otpadne vode se koristi bioaeracioni bazen sa rotorima ili difuzorima za vazduh, a koristi se u tehnologiji sa povratnim muljem.

Naknadni taložnik (klarifikator) se koristi za bistrenje tretirane otpadne vode i sedimentaciju mulja, sa evakuacijom, prerađene vode u recipijent, a izluženog aktivnog mulja u primarni taložnik.

Muljna pumpa iz naknadnog taložnika se koristi za prepumpavanje kombinovanog mulja u digestor za mulj.

Za stabilizaciju mulja se koristi digestor za anaerobno truljenje kombinovanog mulja, pa se mulj, posle anaerobne stabilizacije odlaže na polja za sušenje mulja.

Slika 55 - Blok šema postrojenje za aerobni tretman otpadne vode sa anaerobnim tretmanom mulja i sa digestorom za mulj



Varijanta II sa ugušćivačem za mulj

Osnovni uređaji u postrojenju za aerobni tretman vode i pasterizaciju mulja su:

- gruba rešetka
- pužne pumpe (nisu obavezne)
- peskolov (nije obavezan)
- primarni taložnik
- bioaeracioni bazen
- naknadni taložnik
- ugušćivač za mulj
- hemijska ili termička stabilizacija mulja
- mehaničko ceđenje mulja

Za grubo ceđenje se koristi mehanička rešetka, a izdvojena masa sa rešetke se spaljuje u uređaju-peći za otpad na samom objektu.

Za uklanjanje peska se može koristiti bilo koji peskolov, najpodobnije aerisani peskolov, peskolov nije obavezan.

Prepumpavanje otpadne vode se vrši potopljenim ili pužnim muljnim pumpama, uređaj nije obavezan.

Za uklanjanje mulja iz otpadne vode koristi se primarni taložnik za sirovi mulj, četvorougao ili okrugli bazen, u koji se vraća otpadni mulj (višak mulja) iz naknadnog taložnika.

Za biološku obradu otpadne vode se koristi bioeracioni bazen sa rotorima ili difuzorima za vazduh, a koristi se u tehnologiji sa povratnim muljem.

Za evakuaciju aktivnog mulja iz tretirane vode se koristi naknadni taložnik (klarifikator), prerađena voda se preko preliva evakuše u recipijent.

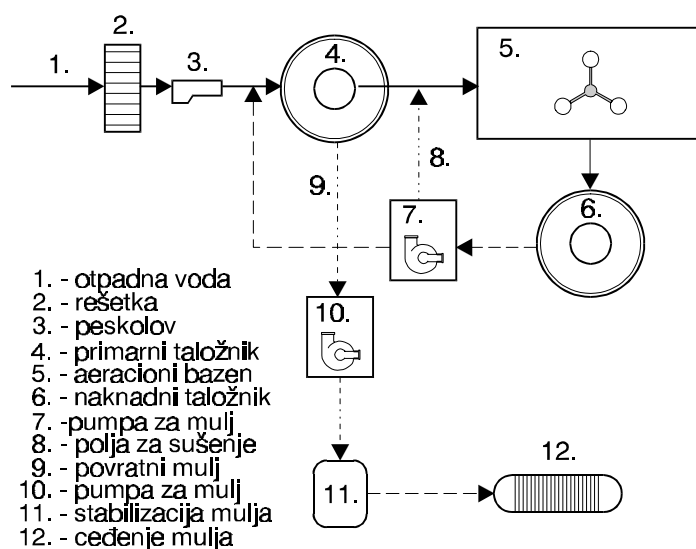
Separisani mulj se pumpama za prepumpavanje kombinovanog mulja prebacuje u recirkulaciju, a višak mulja do primarnog taložnika, odakle se kao kombinovani mulj prebacuje do muljnog ugušćivača.

Muljni ugušćivač služi za koncentrovanje kombinovanog mulja, sa ili bez hemijskog kondicioniranja mulja.

Stabilizacija mulja se vrši hemijski ili termički.

Za ceđenje mulja se koristi uređaj za mehaničko ceđenje, ramske ili trakaste filter prese ili vakuum filter za mulj.

Slika 56 - Blok šema postrojenje za aerobni tretman otpadne vode sa anaerobni tretman mulja sa ugušćivačem za mulj



3.2.6.3. Velike stanice - od preko 50 000 ES

– Bioeraciono postrojenje za aerobni tretman vode i anaerobni tretman mulja

Osnovni uređaji u postrojenju za aerobni tretman vode i anaerobnu stabilizaciju mulja

su:

- rešetke
- aerisani peskolov
- pumpe za otpadnu vodu
- primarni taložnik
- bioeracioni bazen sa povratnim muljem
- naknadni taložnik
- muljne pumpe
- ugušćivači za mulj (nije obavezno)

- digestor za mulj
- mehaničko ceđenje mulja
- finalno odlaganje mulja
- postrojenje za rekuperaciju energije
- tercijarna obrada efluenta

Za grubo ceđenje se koriste mehaničke rešetke, najmanje jedna (srednjeg tipa), ili dve (gruba i fina) rešetke, a izdvojena masa sa rešetki se spaljuje u uređaju-peći za otpad na samom objektu.

Za uklanjanje peska se mogu koristiti aerisani peskolovi, najpovoljnije kružni sa aksijalnom postavkom na tok.

Prepumpavanje otpadne vode se vrši pužnim muljnim pumpama.

Za biološku obradu otpadne vode se koriste bioaeracioni bazen sa aktivnim muljem u tehnologiji sa povratnim muljem, uz srednje ili visoko opterećenje, sa izdvojenim naknadnim taložnicama, ili u kombinovanim bioaeracionim bazenima u kojima se vrši aeracija i taloženje mulja.

Naknadni taložnici (ukoliko nije kombinovani bioaeracioni bazen) se koriste za bistrenje tretirane otpadne vode i sedimentaciju mulja, sa evakuacijom prerađene vode preko preliva, a evakuacijom mulja pomoću muljne pumpe.

Muljne pumpe evakušu višak mulja iz naknadnog taložnika, ili kombinovanog bioaeracionog bazena u digestor za mulj, a deo kao povratni mulj za bioaeracione bazene.

Gravitacioni ugušivači mulja sa hemijskim kondicioniranjem mulja, nisu obavezni uređaji.

Za anaerobnu stabilizaciju mulja se koriste jedno ili dvostepeni digestori za mulj sa sakupljanjem biogasa, sa velikim opterećenjem fermentacije.

Mehaničko procedivanje mulja se vrši rotacionim vakuum filtrima, centrifugalnim, ramskim ili trakastim filter presama, sa eventualnim hemijskim ili termičkim kondicioniranjem mulja.

Konačno odlaganje prevrelog mulja se najčešće vrši spaljivanjem u tunelskim pećima, etažnim pećima ili pećima sa fluidizovanim slojem.

Postavljeno je postrojenje za rekuperaciju toplotne energije iz biogasa, kao gaso-dizel motori (pokretačko gorivo je dizel gorivo sa promenljivim kapacitetom, i energetske učinkom od 60-70%) koji proizvode potrebnu električnu energiju za postrojenje.

– Postrojenje sa bioeracionim bazenom i naknadnim taložnikom

Postrojenje sa odvojenim bioeracionim bazenima i naknadnim taložnicima predstavlja jedan pravac razvoja velikih postrojenja. Postrojenje predstavlja kompleks objekata za zaokruženje proizvodne celine.

Od pratećih i pomoćnih objekata na postrojenju su gaso-dizel postrojenje i trafo stanica za sopstveno napajanje električnom energijom, zatim komandna sala za kontrolu i automatsko upravljanje postrojenjem i pogonska laboratorija, kao i administrativni objekti, administrativno-tehnička zgrada, radionice, garaže i slično.

Tehnologija prečišćavanja otpadne vode (linija vode) se zasniva na aerobnom tretmanu otpadne vode, zasnovanom na tehnologiji aeracije sa aktivnim muljem, mešanju viška aktivnog mulja i primarnog mulja pre primarne taložnice.

Tehnologija tretmana otpadnog mulja (linija mulja) se zasniva na izdvajanju kombinovanog mulja na primarnoj taložnici, ugušćavanju kombinovanog mulja, digestiji (anaerobnom vrenju) kombinovanog mulja, mehaničkom ceđenju kombinovanog mulja, evakuaciji ocedenog mulja na deponiju, kao i iskorišćenju biogasa iz digestora u gaso-dizel postrojenjima.

Postrojenje sa odvojenim bioeracionim bazenima i naknadnim taložnicima se uobičajeno sastoji od sledećih pozicija:

- 1) dovod komunalne otpadne vode
- 2) ceđenje kroz rešetke
- 3) prepumpavanje proceđene vode
- 4) baj-pas neprerađene vode
- 5) aerisani peskolov
- 6) pranje peska
- 7) bunker za pesak
- 8) evakuacija peska i grubog otpada sa rešetke na deponiju
- 9) primarni taložnik
- 10) baj-pas izbistrene neprerađene vode
- 11) naknadni taložnik
- 12) ispuštanje efluenta
- 13) muljne pumpe
- 14) višak mulja
- 15) povratni mulj
- 16) prepumpavanje kombinovanog mulja
- 17) zgušnjivač mulja
- 18) primarni digestor za mulj
- 19) sekundarni digestor za mulj
- 20) preliv digestora
- 21) mehaničko ceđenje mulja
- 22) ocedna voda
- 23) evakuacija ocedenog mulja
- 24) predgrejač digestora
- 25) mešač za digestore
- 26) kompresorska stanica
- 27) energetska stanica
- 28) trafo stanica
- 29) kontrolna sala
- 30) administrativna zgrada
- 31) laboratorija

– **Postrojenje sa kombinovanim bioeracionim bazenom**

Postrojenje sa kombinovanim bioeracionim bazenima bez naknadnih taložnica predstavlja drugi pravac razvoja velikih postrojenja. Postrojenje predstavlja kompleks objekata za zaokruženje proizvodne celine.

Od pratećih i pomoćnih objekata na postrojenju su trafo stanica za napajanje električnom energijom, komandna sala za kontrolu i automatsko upravljanje postrojenjem i pogonska laboratorija, kao i administrativni objekti, administrativno-tehnička zgrada, radionice, garaže i slično.

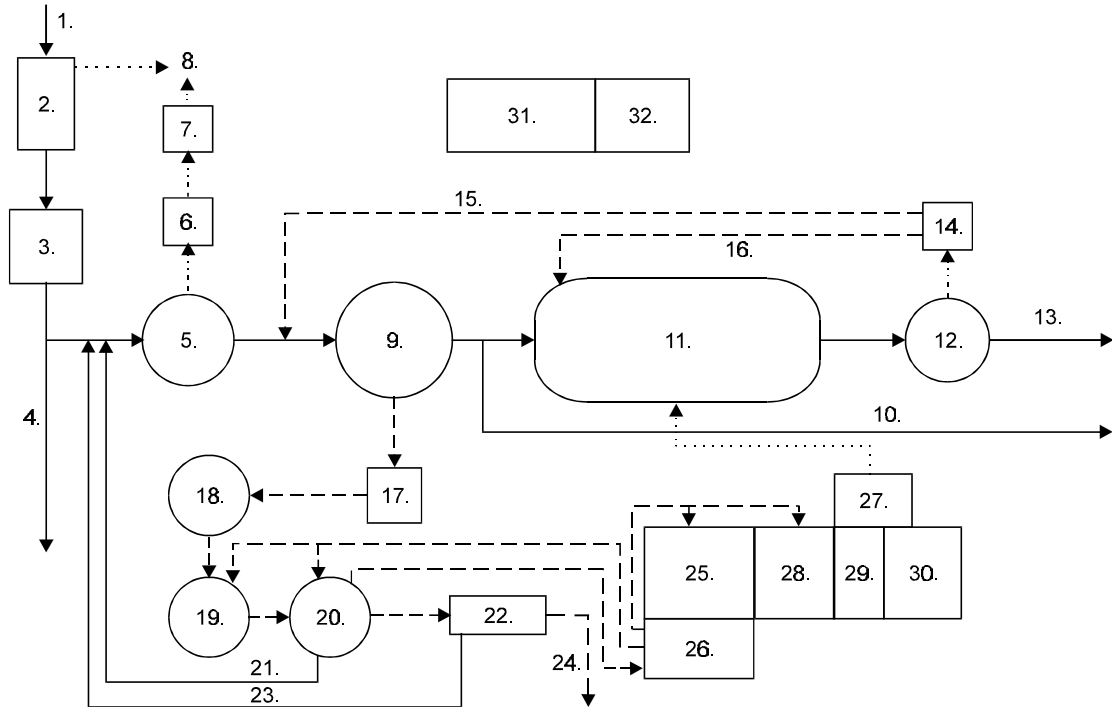
Tehnologija prečišćavanja otpadne vode (linija vode) se zasniva na aerobnom tretmanu otpadne vode, zasnovanom na tehnologiji aeracije sa aktivnim muljem, mešanju viška aktivnog mulja i primarnog mulja pre primarne taložnice.

Tehnologija tretmana otpadnog mulja (linija mulja) se zasniva na izdvajanju kombinovanog mulja na primarnoj taložnici, ugušćavanju kombinovanog mulja, termičkom kondicioniranju kombinovanog mulja, filtraciji pasterizovanog mulja, kao i spaljivanju muljnih pogača.

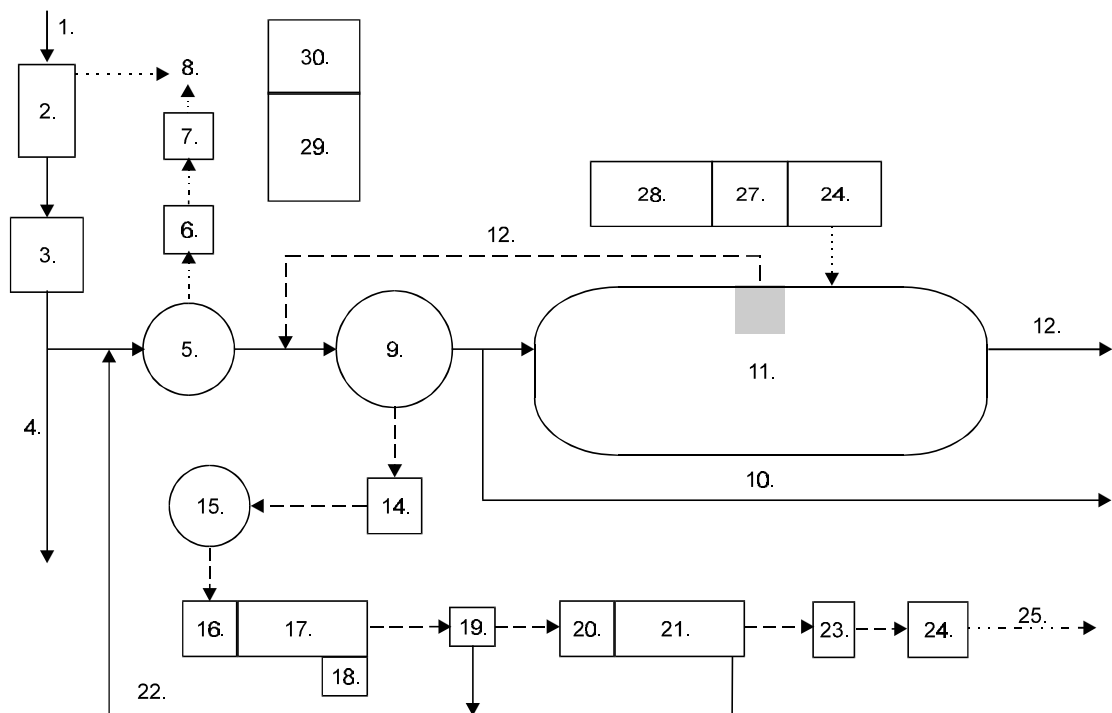
Postrojenje sa kombinovanim bioeracionim bazenima, sa naknadnom taložnicom u sklopu bioeracionih bazena, se uobičajeno sastoji od sledećih pozicija:

- 1) dovod komunalne otpadne vode
- 2) ceđenje kroz rešetke
- 3) prepumpavanje proceđene vode
- 4) baj-pas neprerađene vode
- 5) aerisani peskolov
- 6) pranje peska
- 7) bunker za pesak
- 8) evakuacija peska i grubog otpada sa rešetke na deponiju
- 9) primarni taložnik
- 10) baj-pas izbistrene neprerađene vode
- 11) kombinovani bioeracioni bazen
- 12) ispuštanje efluenta
- 13) višak mulja
- 14) prepumpavanje kombinovanog mulja
- 15) zgušnjivač mulja
- 16) muljne pumpe
- 17) termičko kondicioniranje mulja
- 18) postrojenje za proizvodnju toplote za termičko kondicioniranje
- 19) taložnica za mulj
- 20) muljna pumpa
- 21) filtracija mulja
- 22) filtrat
- 23) muljna pogača
- 24) spaljivanje mulja
- 25) evakuacija pepela
- 26) kompresorska stanica
- 27) trafo stanica
- 28) kontrolna sala
- 29) administrativna zgrada
- 30) laboratorija

Slika 57 - Blok šema postrojenja sa odvojenim bioaeracionim bazenima i naknadnim taložnicima



Slika 58 - Blok šema postrojenja sa kombinovanim bioaeracionim bazenima



3.3. Ocena karakteristika navedenih sistema

3.3.1. Ocena kvaliteta postavljenih tehnologija

Postavljena tehnologija kod sistema postrojenja za tretman otpadnih voda sa lagunama predstavlja tehnologiju aerobne obrade tipa ekstremno produžene aeracije sa aerobnom stabilizacijom mulja, u istoj aerisanoj aerobnoj laguni, ili u odvojenim aerisanim aerobnim lagunama.

Za ovako koncipiranu tehnologiju je neophodno poštovati tehnološke odrednice procesa i na bazi njih projektom korektno postaviti nekoliko stvari:

- dobro dimenzionisanje površinskog i zapreminskog opterećenja laguna
- dobro dimenzionisanje potrebnog vazduha za aeraciju u lagunama
- dobro projektovana distribucija vazduha i mešanje u laguni

Dobro površinsko dimenzionisanje zahteva veliko angažovanje površine (od 1 m²/ES kod čisto aerisanih aerobnih laguna, do oko 28.5 m²/ES, ili 350 ES/ha, za anaerobnu lagunu), što je često teško i skupo obezbediti.

Pokušaji smanjivanja angažovane površine, ili zapremine laguna, što je čest slučaj kod savremenijih hibridnih postrojenja sa lagunama, dovodi u pitanje osnovnu tehnološku postavku dozvoljenih opterećenja, čime se menja režim rada u laguni. Za veće opterećenje je neophodna i veća masa aktivnog mulja, pa savremeniji hibridni sistemi sa lagunama uobičajeno vrše recirkulaciju mulja u prvoj aerisanoj laguni, čime se postupak sa lagunama u delu bioaeracije približava nivou postupka sa aktivnim muljem.

Dobro dimenzionisanje potrebnog vazduha zahteva poštovanje dozvoljenih, jako niskih površinskih i zapreminskih opterećenja laguna (od 5 puta manje kod aerobnih laguna, pa do 50 puta manje kod aerobno-anaerobnih laguna (fakultativnih laguna) od opterećenja kod kompaktnih postrojenja). Pokušaji povećavanja opterećenja, što je čest slučaj kod hibridnih postrojenja sa lagunama, direktno menja režim dovodenja i distribucije kiseonika u laguni.

Što se više vrši "hibridizacija" postrojenja sa lagunama, to se praktično postupak sa lagunama sve više, u prvom delu mehaničkog predtretmana, kao i u delu aerobnog tretmana otpadne vode, "prevodi" u svojevrsni kompaktni proces. Može se reći da se tako dobija "kompaktno postrojenje sa zemljanih bazenima sa aktivnim muljem", u kome su rešenja tehničkih detalja transporta i regulacije procesa neodgovarajuća za potreban nivo tehnike u tehnologiji obrade otpadnih voda sa aktivnim muljem u kompaktnim postrojenjima.

Dobra distribucija vazduha u lagunama je skopčana sa velikim brojem teškoća, posebno što se uobičajeno u sistemima sa lagunama, za distribuciju vazduha postavljaju blok difuzori sa potopljenim štapovima po većem dijametru lagune, međusobno povezani plastičnim crevima. Kvalitet i otpornost creva i spojevi metal - crevo, na realne uslove radnesredine, ne omogućavaju potreban nivo kvaliteta distribucije vazduha u čitavoj zapremini aerisane lagune.

Kako su lagune uobičajeno velikih površina, to je teško osmisliti drugačiji sistem distribucije vazduha, od pomenutih baterija štapnih difuzora, koji će biti efikasan u celoj zapremini aerisane lagune. Problemi sa crevima i spojevima creva i difuzora otežavaju dobru regulaciju potrebnog pritiska vazduha, ne samo za aeraciju, već pre svega i za homogenizaciju mulja i vode u aerisanoj laguni, čime se otežava, ne samo kontakt mulja i vode, već i evakuacija mulja iz aerisanih laguna sa otpadnom vodom u muljne lagune. Kod četvorougaočnih preseka laguna je ova pojava naročito izraženo u samim uglovima, gde se stvaraju nanosi mulja, što se može značajno ublažiti "peglanjem" (zaobljavanjem) uglova .

Isticanja vazduha iz creva, ili na spojevima creva i difuzora mogu biti (a uobičajeno u praksi i jesu) tolikih razmera da vazduh skoro uopšte ne ulazi u vodu u laguni, već sa površine lagune izaziva odnošenje kapljičastih aerosolova vetrom po okolini, čime dodatno kontaminira i okolno zemljište i okolni vazduh, a ne samo recipijent za otpadne vode.

Problematična distribucija vazduha u lagunama dovodi do neželjenih promena u lagunama, a neretko i do izmene tehnološke suštine procesa.

Temperaturne oscilacije u dužem periodu, odnosno klimatski temperaturni uticaji dvostruko opterećuju rad postrojenja, pre svega kod sistema postrojenja sa lagunama, kod kojih su, usled mnogostruko većeg vremena zadržavanja otpadne vode u postrojenju, temperaturni efekti okolne rsedine izraženiji.

Optimalna temperatura za aktivnost mikroorganizama, posebno u formi aktivne mase homogenizovane u vodi, se kreću najčešće u opsegu od 15°C do 35°C.

Temperatura, kako je ranije već objašnjeno, značajno utiče i na rastvorljivost kiseonika u vodi. Ovaj temperaturni uticaj na rad postrojenja je u većini slučajeva izraženiji od uticaja na metabolizam mikroorganizama, tako da do većih problema pri temperaturnim oscilacijama dolazi usled rastvaranja kiseonika, što je više izraženo kod sistema postrojenja sa lagunama, nego kod sistema kompaktnih sistema.

Kod malog nedostatka kiseonika, ili loše distribucije po vertikali u aerisanoj laguni, koja je najčešće posledica prekomerne dubine aerobne lagune, zarad "uštete" na površini lagune (aerisane lagune se projektuju i do 4 m dubine), dolazi do formiranja svojevrsnih slojeva u vodi i to:

- aerobnog sloja ispod površine vode, do dubine od 1-1.5 m, u kome je značajan uticaj okolnog vazduha i prirodne aeracije, pa ima dovoljno kiseonika za aerobne procese
- aerobno-anaerobnog sloja (fakultativnog sloja) u sredini mase vode, debljine oko 1-2 m, u kome nema uticaja okolnog vazduha, pa prisutna količina kiseonika potiče od difuzora, koji, usled problema u radu, ne doziraju dovoljno vazduha, pa nema dovoljno kiseonika za aerobne procese
- anaerobnog sloja na dnu lagune, debljine od 0.5 - 1.0 m, u kome je zadržavanje vazduha doziranih difuzorima minimalno, pa usled nedostatka kiseonika nema uslova za aerobnu obradu, već se istaloženi mulj, usled nedovoljno vazduha za homogenizaciju mulja u laguni, razgrađuje u anaerobnim uslovima

Na ovaj način se može potpuno promeniti tehnologija obrade u aerisanoj laguni.

Za tretman mulja krajnji efekat aerobne i anaerobne stabilizacije, tokom dugog vremenskog perioda, je sličan.

Međutim, fakultativna i anaerobna obrada vode u uslovima postavljenim za aerobnu obradu ne mogu dati potrebne rezultate, što će se, pre svega, manifestovati visokom BPK₅ u efluentu.

Navedene pojave prevode aerisane aerobne lagune u aerisane fakultativne lagune, za čiji su rad potrebni drugi ulazni parametri, a takođe i drugačiji pristup samom projektovanju procesa. Granična kategorija ove pojave je prelazak aerisanih na anaerobne lagune, kada je distribucija kiseonika u vodi jako slaba, pri čemu je samo površinski sloj do 0.5 m u nekom aerobnom statusu.

Postupak tretmana otpadne vode u anaerobnim lagunama je ne samo tehnološki već i suštinski potpuno drugačiji. Tehnologija tretmana i odlaganja mulja je, takođe, problematična kod sistema postrojenja sa lagunama.

Mulj se uopšte ne tretira tokom postupaka obrade otpadne vode u lagunama, već se akumulira u muljnim lagunama, dok praktično akumulacija mulja počinje još u prvoj aerisanoj aerobnoj laguni, usled loše distribucije vazduha i loše homogenizacije mulja u vodi. Tako se vrši zamuljivanje aerisane lagune, a mogu se stvoriti i uslovi u kojima se vrše anaerobni procesi.

Poseban problem kod postrojenja sa lagunama danas predstavlja zahtev za tercijarnim prečišćavanjem, koji se u sistemu postrojenja sa lagunama ne može sprovesti dosadašnjim tehnološkim postupcima, već se moraju iznalaziti komplikovane biološke metode za tercijarno prečišćavanje.

Kod kompaktnih postrojenja ima, takođe, ovih problema, ali u značajno manjoj meri, pri čemu treba naglasiti da je ove probleme kod kompaktnih postrojenja, usled značajno kvalitetnije regulacije, kako toka vode, tako i toka mulja, mnogo lakše otkloniti.

Potrebna površina bioaeracionih bazena sa aktivnim muljem kod kompaktnih postrojenja je neuporedivo manja od potrebne površine za lagune.

"Ušteda" površine u kompaktnim postrojenjima, recimo kod proširivanja kapaciteta postrojenja, je moguća na uštrb povećavanja hidrauličkog i organskog opterećenja površine i zapremine, bez velikih građevinskih, mašinskih i energetskih zahteva.

Kod sistema postrojenja sa lagunama svaka "ušteda" površine vodi, ili ka približavanju tehnologiji sa aktivnim muljem, ili neodgovarajućem kvalitetu obrade, pa samim tim i efluenta.

Generalno se može reći da su kvalitet i mogućnosti primenjene tehnologije kod kompaktnih postrojenja viši nego kod postrojenja sa lagunama.

3.3.2. Ocena kvaliteta eksploatacije postrojenja

Odvojene linije mulja i vode, kao i mogućnost da se ove linije odvoje od samog početka na postrojenju, omogućavaju kompaktnim postrojenjima visoku fleksibilnost u radu, koju nije moguće ostvariti na zadovoljavajući način kod postrojenja sa lagunama.

Ova fleksibilnost u radu i nezavisno upravljanje linijom vode i linijom mulja daju široke mogućnosti korekcija i vođenja parametara procesa u eksploataciji kompaktnim postrojenjima.

Hibridizacija postrojenja sa lagunama, približavanjem tehnologije i tehnike tehnologiji aktivnog mulja, kao kod kompaktnih postrojenja, uobičajeno ne daje značajnije rezultate, jer su mehanički i hidromehanički problemi u "zemljanim" bazenima mnogo kompleksniji i teže rešivi, od istih problema u betonskim bazenima, tako da se na hibridnim lagunama ne može upotrebiti sva odgovarajuća tehnika sa kompaktnih postrojenja.

Posebno je značajno napomenuti da se kod kompaktnih postrojenja parametri kvaliteta mogu uspešno kontrolisati i korigovati u hodu pri radu postrojenja, dok se kod postrojenja sa lagunama moraju vršiti ne samo tehnički, već i građevinski zahvati da bi se iskorigovao neki loše procenjeni parametar kvaliteta postavljene tehnologije.

3.3.3. Ocena investicionih i eksploatacionih ulaganja

Investiciona ulaganja su kod postrojenja sa lagunama niža u delu instalirane opereme i građevinskih radova, a viša u delu zauzimanja površine.

Eksploataciona ulaganja su značajno viša kod kompaktnih postrojenja, nego kod postrojenja sa lagunama u skoro svim segmentima, osim segmenta iskorišćenja instalirane energije, koja je kod postrojenja sa lagunama neuporediva niža.

Energetska ulaganja kod kompaktnih postrojenja su relativno viša (od 10-20 W/m³), nego kod postrojenja sa lagunama (oko 5 W/m³), bilo u delu instalirane električne energije, bilo u delu potrošnje energenata.

Međutim, ako se investicioni i eksploatacioni troškovi stave u funkciju efikasnosti, onda su sami troškovi po značaju za obradu otpadnih voda i zaštitu životne sredine iza zahteva za kvalitetom obrade, te se troškovi na postrojenjima trebaju sagledavati u funkciji ostvarenih kvaliteta obrađene otpadne vode i otpadnog mulja, gde su kompaktna postrojenja u značajnoj prednosti u odnosu na postrojenja sa lagunama.

Kompaktna postrojenja mogu uspešnije i efikasnije obavljati proces tretmana otpadnih voda, te mislimo da dalje napore treba usmeravati ka praćenju, analiziranju i usavršavanju sistema kompaktnih postrojenja, u cilju dovođenja postojećih i budućih kompaktnih postrojenja na viši tehničko-tehnološki nivo.

P O G L A V L J E I I I
B I L A N S I I P R O R A Č U N I

1. UVOD

Na osnovu statističke obrade podataka o broju stanovnika u naseljenim mestima na teritoriji Republike Srbije, koji su publikovani kao dodatak Fizičko - geografske karte Republike Srbije iz 1995. godine, napravljena je klasifikacija i određen je broj naselja u kojima broj stanovnika varira u određenim granicama. Podaci o broju stanovnika u naseljima Vojvodine i uže Srbije preuzeti su iz poslednjeg popisa stanovnika iz 1991. godine, podaci o broju stanovnika u naseljima Kosova i Metohije, preuzeti su iz popisa stanovnika iz 1981. godine, a podaci o broju stanovnika u naseljima Republike Crne Gore preuzeti su iz poslednjeg popisa stanovnika iz 1991. godine.

Na osnovu podataka o broju stanovnika u 1827 naseljenih mesta na celoj teritoriji Republike Srbije i 1142 mesta na teritoriji Republike Crne Gore, izvršena je klasifikacija u devet grupa naseljenih mesta.

Tabela 1.1- Broj naselja u republici Srbiji po kategorijama broja stanovnika

Broj stanovnika	Broj naselja u Vojvodini	% naselja u Vojvodini	Broj naselja u centralnoj Srbiji	% naselja u centralnoj Srbiji
0 - 500	15	4.05	237	19.77
500 - 1000	31	8.38	342	28.52
1000 - 1500	64	17.30	240	20.02
1500 - 2000	47	12.70	113	9.42
2000 - 5000	122	32.98	172	14.35
5000 - 10000	45	12.16	44	3.67
10000 - 50000	27	7.30	37	3.08
50000 - 100000	17	4.59	9	0.75
100000 i više	2	0.54	5	0.42
Ukupno:	370	100	1199	100

Obzirom na veliki broj naselja u Republici Srbiji, koja imaju manje od 5000 stanovnika (u centralnoj Srbiji 80 % naselja a u Vojvodini 74 % naselja - tabela 1.1) postavlja se pitanje kako treba funkcionalno i racionalno pristupiti projektovanju postrojenja za prečišćavanje kanizacionih voda. U nastavku u tabeli 1.2. prikazani su rezultati statističke obrade i klasifikacije broja stanovnika u naseljima na teritoriji Republike Srbije i Republike Crne Gore.

Atmosferska voda se po pravilu odvodi otvorenim kanalima do recipijenta, mimo postrojenja za prečišćavanje kanizacionih voda. Kanali se dimenzionišu za prijem kiše određene verovatnoće pojave.

Najvažniji ulazni parametri prilikom projektovanja postrojenja za prečišćavanje kanizacionih voda su broj korisnika kanizacione mreže u trenutku izrade projekta i norma potrošnje vode po ekvivalentnom stanovniku na dan odnosno procena broja korisnika na kraju projektog perioda i procena norme potrošnje vode po ekvivalentnom stanovniku na dan na kraju projektog perioda.

BILANSI I PRORAČUNI

Tabela 1.2 - Rezultati statističke obrade i klasifikacije broja stanovnika u naseljima na teritoriji Republike Srbije i Republike Crne Gore

Broj stanovnika	Broj naselja u Republici Srbiji	Ukupan broj stanovnika u klasama naselja u Republici Srbiji	Broj naselja u Republici Crnoj Gori	Ukupan br. stan. u klasama naselja u Republici Crnoj Gori
1 - 500	279 (15.27 %)	86 095 (1.06 %)	989 (86.6 %)	134 466 (22.67 %)
500 - 1000	410 (22.45 %)	306 870 (3.79 %)	95 (8.3 %)	65 174 (10.98 %)
1000 - 1500	379 (20.74 %)	469 884 (5.82 %)	25 (2.2 %)	30 654 (5.17 %)
1500 - 2000	208 (11.38 %)	356 433 (4.41 %)	5 (0.5 %)	9 129 (1.54 %)
2000 - 5000	355 (19.43 %)	1 070 616 (13.23 %)	13 (1.12 %)	38 164 (6.43 %)
5000 - 10000	99 (5.42 %)	673 090 (8.32 %)	6 (0.5 %)	43 203 (7.28 %)
10000 - 50000	72 (3.94 %)	1 485 894 (18.37 %)	7 (0.6 %)	98 530 (16.6 %)
50000 - 100000	17 (0.93 %)	1 023 322 (12.65 %)	1 (0.09 %)	56 141 (9.46 %)
100000 i više	8 (0.44 %)	2 616 709 (32.35 %)	1 (0.09 %)	117 875 (19.87 %)
Ukupno:	1827 (100 %)	8 088 913 (100 %)	1142 (100 %)	593 336 (100 %)

1.1. Projekcija demografskog razvoja u Srbiji

Projekcija demografskog razvoja u Srbiji je do nedavno bila prepuštena proceni može se reći svakog projektanta ponaosob. Projektanti su projekciju broja stanovnika vršili na osnovu rezultata popisa stanovnika, odnosno na osnovu trenda promene broja stanovnika. Bez obzira na činjenični trend opadanja broja stanovnika u centralnoj Srbiji i Vojvodini, projektanti su često usvajali podatak o linearnom porastu broja stanovnika do kraja projektnog perioda u iznosu od 2 promila godišnje.

U našoj republici popisi stanovništva nakon drugog svetskog rata su rađeni: 1948. godine, 1953. godine, 1961. godine, 1971. godine, 1981. godine i 1991. godine. Zakon o Prostornom planu Republike Srbije donet je u Narodnoj Skupštini Republike Srbije 19. marta 1996. godine i tekstualni deo Prostornog plana objavljen je u "Službenom glasniku Republike Srbije", broj 13/96 [30]. U delu III Stanovništvo, naselja, delatnosti i regionalna podela u glavi 1.3. Projekcije demografskog razvoja Srbije prezentovane su kroz dve varijante projekcija demografskog razvoja Republike. U prvoj varijanti, prognoza promena u broju i osnovnim kontigentima stanovništva polazi od pretpostavke o nastavku dugoročnih tendencija iz prethodnog perioda (pre 1991. godine). U drugoj varijanti, se pored dugoročnih tendencija, računa i sa promenama u prostornom razmeštaju i osnovnim kontigentima stanovništva pod uticajem mere demografske politike i regionalnog razvoja. Pri tome nijedna varijanta nije obuhvatila izbeglo i prognano stanovništvo sa teritorije bivših republika SFRJ, niti stanovništvo koje je napustilo Republiku Srbiju posle 1990. godine.

Prva varijanta zasniva se na pretpostavkama o budućem kretanju mortaliteta, fertiliteta i migracionog salda u periodu do 2011. godine, odnosno za njihovu izradu primenjen je analitički (kohort - komponentni) metod. U tekstu zakona Prostorni plan Republike Srbije hipoteze su date za svaku opštinu posebno, a baznu populaciju predstavlja stanovništvo na dan 31. mart 1991. godine. Prema rezultatima ove varijante stanovništvo Srbije poraslo bi sa 9 779 000 u 1991. godini na 10 149 000 u 2011. godini (za 3.8 %), s tim što bi se demografske veličine Vojvodine i središnje Srbije smanjile (stanovništvo Vojvodine za 11.8 %, a središnje Srbije za 3.1 %), dok bi demografska veličina Kosova i Metohije porasla (za 36.2 %).

Druga varijanta projekcije uključuje pretpostavke o delovanju većeg broja faktora endogenog i egzogenog karaktera, koji bi, u planskom periodu uticali na ublaženje ispoljenih nepovoljnih trendova u demografskom razvoju u Republici. Prema rezultatima druge varijante stanovništvo Srbije poraslo bi sa 9 779 000 u 1991. godini na 10 522 000 u 2011. godini, ili za 7.6 %. I dalje bi se zadržale velike međuregionalne razlike u tempu rasta, ali bi bile osetno blaže u poređenju sa onim iz prve varijante. Stanovništvo središnje Srbije u periodu 1991 - 2001. ostvarilo bi neznatan porast (u prvoj varijanti manji pad), a u dekadi 2001 - 2011 blaži rast (0.9 %), kao najavu prvih efekata demografske politike. Trendovi demografskog razvoja u Vojvodini i dalje bi bili negativni, ali ne tako izrazito kao prema prvoj varijanti, dok bi demografska veličina Kosova i Metohije ostala na nivou prve varijante (za 36.2 %).

Druga varijanta projekcije je usvojena kao osnova za prognozu osnovnih demografskih kontigenata do 2011. godine, u Prostornom planu.

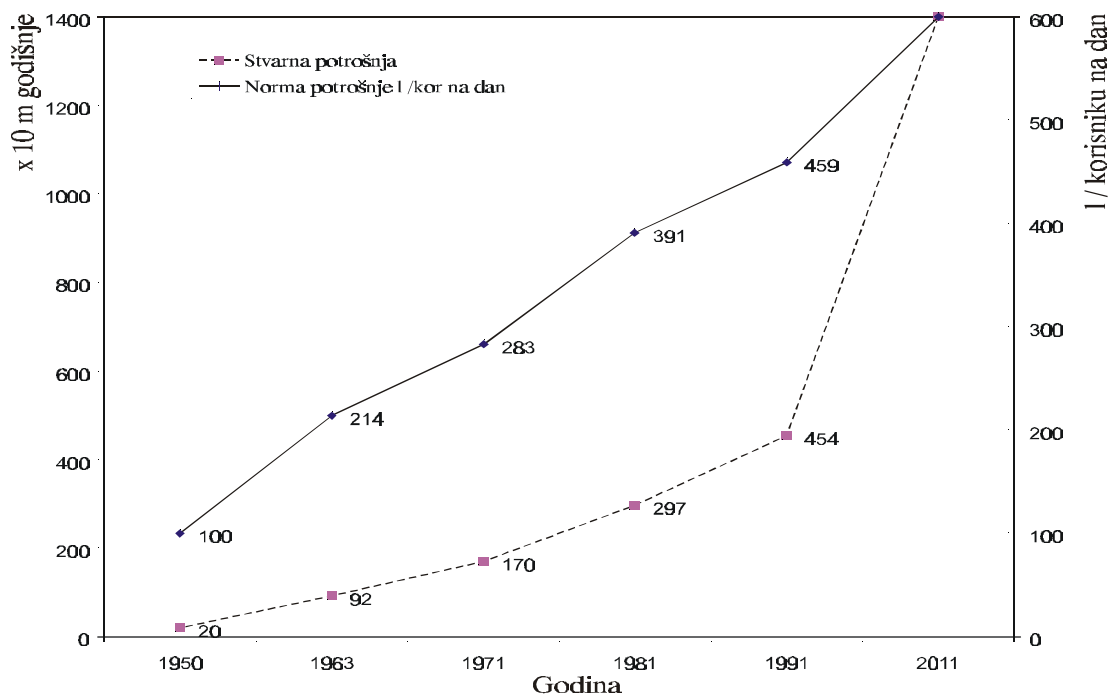
Kako je već istaknuto za svaku opštinu posebno u Prostornom planu kao zakonskom aktu Republike Srbije je data projekcija demografskog razvoja za period do 2011. godine, i ti podaci, odnosno tako definisani trendovi rasta, su merodavni za projektante radi procene broja stanovnika na kraju projektnog perioda. Obzirom da se objekti kanalizacije projektuju za period veći od 30 godina, a obzirom da se nalazimo na kraju prve dekade koja je obuhvaćena prostornim planom, za projektni period od trideset godina treba proporcionalno povećati norme demografskog razvoja, propisane do 2011. godine.

1.2. Norme produkcije fekalnih otpadnih voda, odnosno norme potrošnje sanitarnih voda

Normu produkcije fekalnih otpadnih voda određujemo na osnovu poznavanja norme potrošnje sanitarne vode za piće. Pretpostavka je da se 80 % sanitarne vode nakon upotrebe odvodi u kanalizacioni sistem za fekalne vode. U kanalizacioni sistem se infiltrira i podzemna voda i prilikom projektovanja se uzima da količina infiltrirane vode iznosi oko 20% od norme potrošnje. Uobičajeno je da se kod projektovanja usvaja da je norma produkcije fekalnih otpadnih voda po stanovniku na dan jednaka normi potrošnje sanitarne vode po stanovniku na dan.

U nacrtu vodoprivredne osnove Republike Srbije [18]u delu II Postojeće stanje vodoprivrede, u glavi 1. Korišćenje voda, definisana je norma potrošnje vode po stanovniku na dan za gradska i seoska naselja do 2021. godine. Procenjene norme potrošnje za seosko stanovništvo za 2021. godinu iznose oko 400 l po korisniku na dan. Od toga domaćinstvima je namenjeno 215 l po korisniku na dan. Preostali deo voda je namenjen potrebama životinja u seoskim domaćinstvima i drugoj potrošnji (usluge, javne službe), a neizbežni su i gubici u mreži, koji su i kod ove grupe korisnika uzeti slično kao kod gradskog i prigradskog življa oko 18 %. Za gradsko stanovništvo norma potrošnje vode se procenjuje na oko 600 l po korisniku na dan. Od ove količine domaćinstvima je namenjeno 230 l po korisniku na dan. Potrebe industrije koje se podmiruju iz javnih vodovodnih sistema cene se na 170 l po korisniku na dan, potrebe komercijale i javne potrebe (javne ustanove, restorani, bolnice, organizacije, banke, pranje ulica i zalivanje parkova) su oko 90 l po korisniku na dan, a gubici u sistemu iznose oko 18 %. Učesnici u izradi nacrta Vodoprivredne osnove naglasili su da su ovako procenjene norme potrošnje upoređene i usklađene i sa normama nekih drugih zemalja. Trend porasta norme potrošnje i stvarne potrošnje prikazan je na slici 1.

Slika 1 - Prikaz promene norme potrošnje i stvarne potrošnje tokom vremena



Na osnovu Vodoprivredne osnove, kao zakonskog akta, ulazni podatak za dimenzionisanje i procenu kapaciteta fekalnog kanalizacionog sistema u 2021. godini za manja naselja (seosko stanovništvo) iznosi 400 l po korisniku na dan.

1.3. Osnovni računski elementi za domaće upotrebjene vode - fekalnu kanalizaciju

Osnovni kriterijum za dimenzionisanje sistema za odvođenje domaćih upotrebljenih voda je specifična produkcija ili srednja dnevna produkcija otpadnih voda - oticaj, što predstavlja prosečnu dnevnu količinu upotrebjene vode po jednom stanovniku na dan, koja se upušta u gradsku kanalizacionu mrežu. U ovu količinu su uračunate sve količine upotrebljenih voda jednog naselja, izuzimajući krupnije industrijske potrošače, koji se moraju posebno uzimati u obzir.

Prema, recimo, generalnom rešenju Beogradske kanalizacije za naselja na teritoriji Beogradskog kanalizacionog sistema važi specifični oticaj $q_s = 550$ l/stan. na dan.

Do sada se kod projektovanja kanalizacione mreže koristio specifični oticaj $q = 255$ l/stan. na dan. Ova veličina može se dalje koristiti za "prigradska naselja", kako predlažu stručnjaci Beogradske kanalizacije, na užoj teritoriji Beograda (na primer: Kaluđerica, Sremčica, Kotež, Batajnica i slično).

Koeficijent opšte neravnomernosti definiše se kao proizvod koeficijenata dnevne i časovne neravnomernosti u danu najvećeg oticanja (dan najveće potrošnje vode):

$$K_{op} = K_d \cdot K_h$$

Na osnovu brojnih eksperimenata poznati ruski autor profesor N. F. Fedorov, dao je formulu za proračun koeficijenta opšte neravnomernosti u kanalizaciji. Ova formula je široko prihvaćena u domaćoj praksi, a stručnjaci iz Beogradske kanalizacije su izvršili određenu modifikaciju originalne formule koja glasi:

$$K_{op} = 2.69 \cdot Q_{sr}^d^{-0.121}$$

Originalna formula ruskog autora je modifikovana, da bi rezultati bili na strani sigurnosti, tako da se za potrebe određivanja koeficijent opšte neravnomernosti, u Beogradskoj kanalizaciji računa pomoću sledeće formule:

$$K_{op} = 3.0 \cdot Q_{sr}^d^{-0.121}$$

K_{op} - koeficijent opšte neravnomernosti (bez dimenzija)

Q_{sr}^d - srednji dnevni oticaj ili srednji dnevni protok za dato naselje (l/sec)

Srednji dnevni oticaj dobija se po formuli:

$$Q_{sr}^d \text{ (l / s)} = \frac{q_s \cdot N_{ES}}{86400}$$

N_{ES} - broj stanovnika (ili broj ekvivalentnih stanovnika)

q_s - specifičan oticaj (l/stan. na dan)

Maksimalni dnevni oticaj dobija se kao proizvod srednjeg dnevnog oticaja i koeficijenta dnevne neravnomernosti.

$$Q_{max}^d \text{ (l / s)} = Q_{sr}^d \cdot K_d$$

Q_{max}^d - maksimalni dnevni oticaj (l/s)

Q_{sr}^d - srednji dnevni oticaj (l/sc)

K_d - koeficijent dnevne neravnomernosti

BILANSI I PRORAČUNI

Ilustracije radi za specifičan oticaj na teritoriji Beogradskog kanalizacionog sistema $q_s=255-350$ l/stan. na dan i prema generalnom rešenju Beogradske kanalizacije $K_d=1.1-1.15$

Maksimalni časovni oticaj dobija se kao proizvod srednjeg dnevnog oticaja i koeficijenta opšte neravnomernosti:

$$Q_{\max}^h \text{ (l / s)} = Q_{\text{sr}}^d \cdot K_{\text{op}} = Q_{\text{sr}}^d \cdot 3 \cdot Q_{\text{sr}}^d^{-0.121} = 3 \cdot Q_{\text{sr}}^d^{0.879}$$

Q_{\max}^h - maksimalni časovi oticaj

Q_{sr}^d - srednji dnevni oticaj

K_{op} - koeficijent opšte neravnomernosti

Tabela 1.3.1. Prikaz koeficijenta ukupne neravnomernosti i maksimalnog časovnog oticaja za razne vrednosti srednjeg dnevnog oticaja

srednji dnevni oticaj Q_{sr}^d l/s	br. ekviv. stan. za specif. oticaj $q_s = 350$ l/s	br. ekviv. stan. za specifi. oticaj $q_s = 255$ l/s	koef. ukupne neravnomer. k = $3 Q_{\text{sr}}^d^{-0.121}$	maksimalni časovni oticaj $Q = 3 Q_{\text{sr}}^d^{0.879}$
5	1234	1694	2.47	12.35
10	2469	3388	2.27	22.7
15	3703	5082	2.16	32.4
20	4937	6776	2.09	41.8
25	5171	8470	2.03	50.75
30	7406	10164	1.99	59.7
35	8640	11859	1.95	68.25
45	11109	15247	1.90	85.5
55	13977	18635	1.85	101.75
75	18514	25412	1.78	133.5
100	24586	33882	1.72	172
200	49371	67764	1.58	316
300	74057	101647	1.50	450
400	98743	135529	1.45	580
500	123429	169412	1.41	705
600	140114	203294	1.38	828
700	172800	237176	1.36	952
800	197486	271058	1.34	1072
900	222171	304941	1.32	1188
1000	246857	338823	1.30	1300

Norme i koeficijente neravnomernosti odvođenja industrijskih otpadnih voda krupnijih industrijskih preduzeća treba usvojiti na osnovu tehnoloških podataka.

Na osnovu statističkih podataka iz navedenih tabela, predlažemo sledeće kapacitete potrebnih postrojenja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda, za skoro sva naselja u Srbiji:

1. ekstremno mala postrojenja, kapaciteta do 2 500 ES (65% naselja u Srbiji, 15% stanovništva)
2. mala postrojenja, kapaciteta od 2 500 - 10 000 ES (25% naselja u Srbiji, 20% stanovništva)
3. srednja postrojenja, kapaciteta do 10 000 - 30 000 ES (4% naselja u Srbiji, 10% stanovništva)

-
4. velika postrojenja, kapaciteta od 50 000 - 100 000 ES (4% naselja u Srbiji, 15% stanovništva)
 5. ekstremna postrojenja, kapaciteta preko 100 000 ES (0.5% naselja u Srbiji, 35% stanovnika)

Kao što se može videti iz navedene podele, nije "pokriven" kapacitet postrojenja između 30 000 - 50 000 ES. Kod ovih kapaciteta (1.5% naselja u Srbiji, 5% stanovništva) predlažemo da se izbor postrojenja treba izvršiti prema udelu industrijskih otpadnih voda u ukupnim kanalizacionim otpadnim vodama.

- za niži udeo industrijskih otpadnih voda u komunalnim otpadnim vodama za naselja opterećenja oko 40 000 ES smatramo da je povoljnije projektovati po tipu srednjeg postrojenja (kapaciteta $3 \times 15\ 000$ ES)
- za viši udeo industrijskih otpadnih voda u komunalnim otpadnim vodama za naselja opterećenja oko 40 000 ES smatramo da je povoljnije projektovati po tipu velikog postrojenja (kapaciteta $2 \times 25\ 000$ ES)

Za ekstremno mala postrojenja (tip postrojenja 1) neće biti obrazlagan proračun, pošto su to kompaktna standardizovana postrojenja, najčešće smeštena u jedan zajednički složeni uređaj, ili jedan objekat, te nema potrebe za hidrauličkim i drugim proračunima, pošto je dovoljno odabrati samo tip postrojenja u odnosu na postavljeno opterećenje, te naručiti kompletno postrojenje od proizvođača.

U ovoj publikaciji biće obrađena tipizacija i metodologija proračuna kod malih, srednjih i velikih postrojenja (tipovi postrojenja 2, 3 i 4), dok ekstremna postrojenja (tip postrojenja 5), kapaciteta za preko 300 000 ES neće biti predmet razmatranja ove publikacije, pošto je broj mogućih korisnika ovog tipa postrojenja konačno mali.

1.4. Osnovna opredeljena pri odlučivanju o tipizaciji postrojenja

Na osnovu dugogodišnjeg bavljenja projektovanjem postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda naselja i na osnovu podataka iz poslednjeg popisa stanovništva iz 1991. godine, nametnula se realna potreba za izradom nekoliko tipskih postrojenja, različitog kapaciteta, koja bi bila u stanju da na tipski način reše problem prečišćavanja fekalnih otpadnih voda iz većine naselja u našoj zemlji.

Postrojenja su zamišljena kao kompaktna postrojenja koja koriste tehnologiju prečišćavanja poznatu pod nazivom produžena aeracija. Kompaktna postrojenja su zbog svoje pouzdanosti u radu, ne zaviseći od spoljne temperature i male površine koja je potrebna za njihovu instalaciju, bez premca u odnosu na ostale tehnološki zastarele metode.

Korišćenjem tehnologije produžene aeracije moguće je celo postrojenje definisati za rad u aerobnim uslovima. Na taj način se vrši aerobna stabilizacija mulja što je po domaćim i svetskim iskustvima ekonomski isplativo do određenog značajnog kapaciteta postrojenja. U radu će se dati grupisanje (klasiranje) i osnovne karakteristike tako klasiranih tipskih postrojenja koja se mogu primeniti kod više od 95% naselja u našoj zemlji.

Tehničko-tehnološko rešenje za mala i srednja postrojenja moguće je postaviti skoro identično od opterećenja od 2 500 ES, do opterećenja od 30 000 ES. Stoga je za srednja postrojenja postavljena granica opterećenja od 30 000 ES, umesto uobičajene granice od 50 000 ES. Opterećenje od 30 000 ES nije uobičajeno u praksi, pogotovu kod zapadnih tehnologija. Međutim, kod odrednica opterećenja vodili smo se pre svega logikom maksimalnog unificiranja problematike prečišćavanja otpadnih voda, posebno sa aspekta uslova u našoj zemlji.

Opredeljenje za navedene granice hidrauličkog opterećenja otpadnih voda je izvršeno na bazi sledećih osnovnih prednosti:

1. Postrojenja predstavljaju kompaktni sistem, sa kontinuiranim hidrauličkim tokom duž celog postrojenja, koji je u osnovi baziran na razlici hidrauličkih nivoa duž svih postavljenih uređaja u postrojenju.
2. Svako postrojenje se postavlja kao sistem sastavljen od dve paralelne linije, čime se obuhvata kapacitet hidrauličkog opterećenja od minimalno 1 250 do maksimalno 30 000 ES. Linije se postavljaju po fazama.
3. Instalirani kapacitet, u mehaničkom delu procesa, kreće se u okviru granica opterećenja od 2 500 - 30 000 ES, a u biološkom delu procesa u granicama opterećenja od $(2 \times) 1 250 - (2 \times) 15 000$ ES.
4. Tehnološka postavka obrade otpadne vode se zasniva na jedinstvenom principu, postupku bioaeracionog tretmana aktivnim muljem sa produženom aeracijom, sa povratnim muljem, što se uklapa u teorijske okvire upotrebe navedenog postupka ($\leq 15 000$ ES), bez obzira na visine hidrauličkog i organskog opterećenje, kao i oscilacije u opterećenjima, u okviru navedenih granica.
5. Problematika tretmana otpadnog mulja se može nezavisno regulisati, bez obzira na jedinstven princip tehnološke postavke obrade otpadnih voda, nezavisno od hidrauličkog kapaciteta postrojenja, u zavisnosti od konkretnog opterećenja kombinovanim muljem (primarni mulj i višak aktivnog mulja), nekim od fizičkih, odnosno mehaničkih tretmana, koji bez većih problema podnose oscilacije u kapacitetu mulja tokom procesa.
6. Najveći broj gradskih sredina, seoskih i drugih naselja u našoj zemlji, može se obuhvatiti ovim jedinstvenim tehničko-tehnološkim postupkom, kao i mašinskom opremom i repromaterijalom, čime se u velikoj meri unificira problematika tretmana otpadnih voda, a ujedno se i olakšavaju nabavka i održavanje opreme, upravljanje postrojenjem, remont i drugi aspekti vezani za postrojenja u eksploataciji.

Osnovne tehničko-tehnološke prednosti ovakvog okvira postavke problematike tretmana otpadnih voda se ogledaju u nekoliko bitnih elemenata:

- mogućnost prihvata kombinovanih, industrijskih i komunalnih otpadnih voda, sa korišćenjem predtretmana industrijskih otpadnih voda do nivoa dopuštenog za upuštanje u gradski kanalizacioni sistem
- mogućnost prihvatanja sezonskih oscilacija hidrauličkih opterećenja do 50%, pri čemu se mogu efikasno koristiti jedna ili obe instalirane linije u postrojenju
- mogućnost obrade manje opterećenih otpadnih voda šireg spektra kvaliteta, sa nižim i promenljivim organskim opterećenjem, što je najčešće karakteristika kombinovanih, komunalnih i industrijskih otpadnih voda, kod nas
- efikasno rešavanje problematike stabilizovanja otpadnog mulja, čime se bitno olakšava njegov dalji tretman i dispozicija, kao i značajne materijalne i energetske uštede za tretman otpadnog mulja

Najveći deo seoskih naselja, posebno ona sa određenim industrijskim postrojenjima, kao i onih koji se mogu povezati u zajednički kanalizacioni sistem, mogu se postaviti u okvire postrojenja od 2 500 - 5 000 ES.

Najveći broj industrijskih naselja, palanki i manjih gradova sa niže razvijenom industrijom u našoj zemlji se mogu postaviti u okvire postrojenja od 10 000 - 30 000 ES.

Ovakvim tipovima postrojenja, sa opterećenjima od 2 500 - 30 000 ES se mogu zadovoljiti potrebe velikog broja naselja, koja obuhvataju i veliki broja stanovništva u našoj zemlji, od određenog broja seoskih sredina, do većeg dela gradskih sredina u našoj zemlji, što sigurno brojno pokriva oko 60% od ukupnog broja urbanizovanih naselja u našoj zemlji, dok je udeo stanovništva takođe oko 45%.

Za najveći broj velikih gradskih zajednica sa industrijskim objektima značajnih kapaciteta, kao i srednjih gradskih zajednica sa industrijskim objektima visokih kapaciteta, naročito prehrambene industrije, mogu se primenjivati postrojenja za tretman komunalnih otpadnih voda, hidrauličkih opterećenja u opsegu od 50 000 - 100 000 ES.

Primenjena tehnologija kod ovih postrojenja je tipa aerobne obrade aktivnim muljem sa potpunim mešanjem, srednjeg nivoa organskog opterećenja, sa striktno razdvojenim linijama otpadene vode i otpadnog mulja.

U okviru aerobne obrade dolazi do delimične aerobne stabilizacije aktivnog mulja i delimične nitrifikacije otpadne vode. U okviru ovog tipa postrojenja neophodno je planirati i tercijanu obradu, kao na primer:

- nitrifikaciju - denitrifikaciju (po potrebi)
- defosforizaciju (po potrebi)
- neutralizaciju
- dezinfekciju

Za navedene hidrauličke kapacitete postrojenje mora biti visoko fleksibilno, pošto oscilacije hidrauličkog opterećenja, a posebno organskog opterećenja, mogu biti značajne, pa čak i u okviru vremenske odrednice od jedne dekade.

Stoga je jako značajna postavka postrojenja kao dve paralelne linije od po polovine kapaciteta u primarnom i biološkom delu obrade.

Opterećenje postrojenja muljem predstavlja veliki problem ovih postrojenja, posebno za opterećenje od preko 50 000 ES, pošto je količina primarnog mulja značajna u odnosu na ukupni mulj (primarni + višak aktivnog mulja).

Primarni mulj se izdvaja pre biološke obrade i nezavisno obrađuje u posebnom delu postrojenja, pomešan sa delimično stabilizovanim viškom aktivnog mulja.

Obim opterećenja od 50 000 ES do 100 000 ES omogućava jedinstveni tretman mulja, koji bazira na sledećim operacijama:

- izdvajanje primarnog mulja primarnim taloženjem
- mešanje primarnog i viška aktivnog mulja
- fermentacija izdvojenog mulja digestorima
- presovanje izreagovalog mulja filter presama

Za ovako postavljenu problematiku mulja se mora postaviti značajno fleksibilna tehnologija, pa je rešenje sa odvojenom anaerobnom stabilizacijom mulja u odvojenom anaerobnom procesu obrade, tokom postupka anaerobne fermentacije, van linije vode, značajno povoljno za naše uslove, pošto se dalji tretman može vršiti nezavisno biološkim i fizičkim postupcima, koji se nezavisno regulišu od rada ostalih delova postrojenja.

Za aeraciju kod oba tipa postrojenja predlažemo mamut rotore, ili potopljene difuzore (blok difuzore), koji su kod nas pokazali zadovoljavajući kvalitet.

2. EKSTREMNO MALA POSTROJENJA

2.1. KOMPAKTNA POSTROJENJA KAPACITETA DO 2 500 ES

Postrojenja za tretman komunalnih (sanitarnih) otpadnih voda, hidrauličkih opterećenja ispod 2 000 ES, mogu se primenjivati za manja naselja, turističke oaze, veće ugostiteljske komplekse, kao i pojedinačne industrijske objekte, pre svega prehrambene industrije, srednjih kapaciteta (65% naselja u Srbiji, 15% stanovništva).

Problematika obuhvata postavku postrojenja za tretman komunalnih otpadnih voda kapaciteta od 100 - 2 000 ES.

Za naše uslove minimalni kapacitet, za koji je uputno postavljati postrojenja, može da se definiše sa hidrauličkim opterećenjem od 500 ES (15% naselja u Srbiji, 1% stanovništva).

Ovakvi kapaciteti su realniji za veće ugostiteljske objekte, ili manje ugostiteljske komplekse, dislocirane objekte prehrambene industrije manjih kapaciteta i slične objekte.

Uobičajeno kapaciteti od 500 ES nisu adekvatni za naseljena mesta kod nas, posebno sa aspekta postojanja zajedničkih kanalizacionih voda, industrijskih i komunalnih, naročito u manjim naseljenim mestima, čime se hidraulička opterećenja podižu iznad 500 ES kod svih mesta koja su sa opterećenjem komunalnih otpadnih voda do 400 ES, što je minimalno opterećenje za seosko naselje.

Većina seoskih naselja, posebno ona sa pojedinačnim dislociranim industrijskim postrojenjima, postavlja se u okvire hidrauličkih opterećenja od 1 000 - 2 000 ES (30% naselja u Srbiji, 10% stanovništva).

Praktično nema gradskog naselja u našoj zemlji, čije se opterećenje može normirati sa manje od 2 500 ES, a i mnoga sela, bilo brojčano veća, bilo sa uobičajenim razvojem industrijskih kapaciteta, moraju se normirati na sličan način.

Usled navedenih pokaznica ovakva postrojenja neće biti značajnije obrađivana u ovoj publikaciji, niti će biti izvođen hidraulički i tehnološki proračun za postrojenja hidrauličkih kapaciteta do 2 000 ES.

2.1.1. Tehničko-tehnološka rešenja postrojenja

Za tako male hidrauličke kapacitete postrojenje mora biti visoko fleksibilno, pošto su oscilacije hidrauličkog opterećenja, a posebno organskog opterećenja, jako visoke, pa čak i u okviru vremenske jedinice kapaciteta, jednog sata.

Opterećenje postrojenja muljem predstavlja poseban problem ovih postrojenja, pošto primarnog mulja ima nedovoljno, kako po kvantitetu, tako i po kvalitetu. Postavljanjem bioaeracionih postrojenja sa aktivnim muljem bi se otpadnim izreagovalim aktivnim muljem stvarao problem otpadnog mulja iz ovih postrojenja, jer bi njihov dalji neophodan tretman bio veliki problem, obzirom na kapacitet mulja pri ovakvim hidrauličkim opterećenjima.

Stoga se kod ovih postrojenja ne razdeljuju niti faze, linija vode i linija mulja, niti korišćene tehnološke operacije u značajnijem stepenu, već se tretira kompletna komunalna otpadna voda sa sve muljem u visokofleksibilnim uređajima, u kojima se uobičajeno obavljaju sve potrebne tehnološke operacije za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda.

Što je hidrauličko opterećenje bliže 500 ES, smanjuje se broj upotrebljenih uređaja u postrojenju, a povećava broj operacija koje se vrše u uređajima.

Obratno, što je hidrauličko opterećenje bliže 2 000 ES, to se povećava broj upotrebljenih uređaja u postrojenju, a smanjuje broj operacija koje se vrše u uređajima.

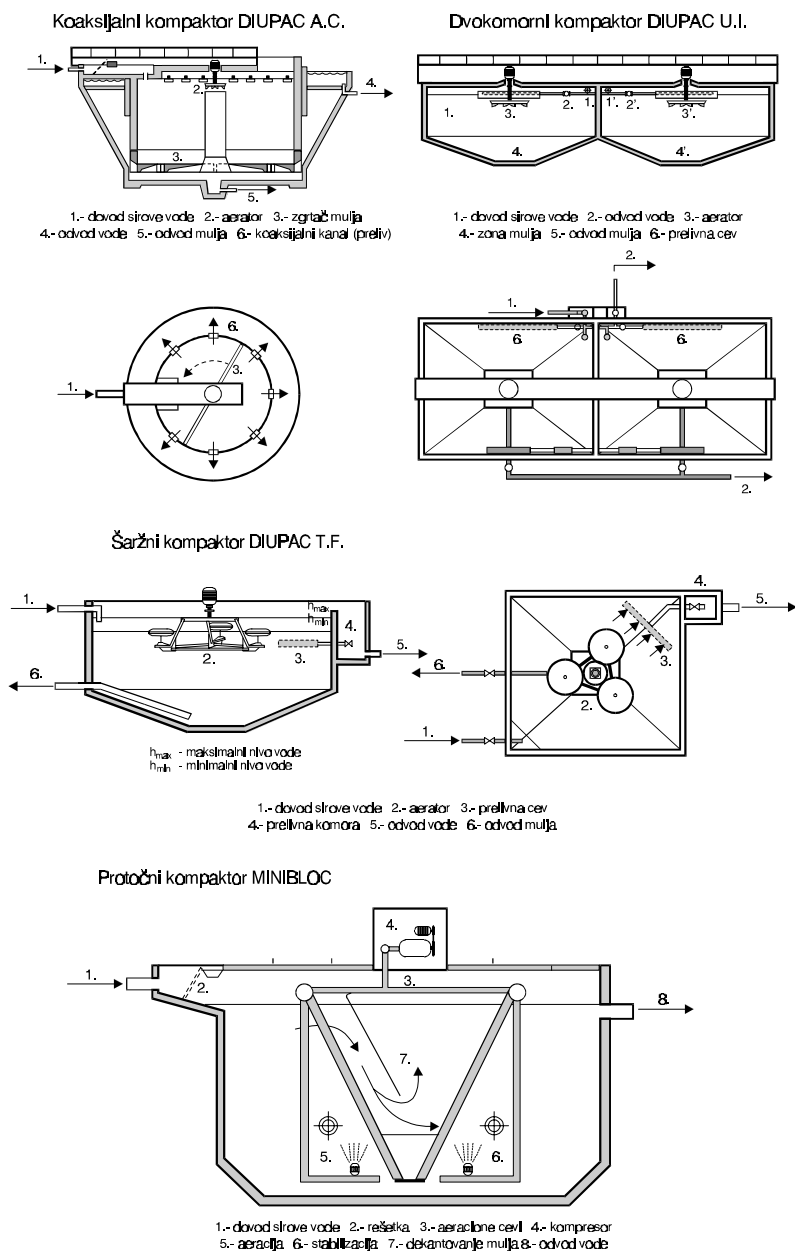
Za postrojenja sa opterećenjima bližim 500 ES se upotrebljavaju složeni uređaji - različiti tipovi mini blokova - kompaktora (slika 1), a za opterećenja od 1 000 - 2 000 ES se upotrebljavaju tehničko-tehnološke linije - bio blokovi (slika 2).

2.1.1.1. Mini blokovi

Slika 1. - Mini blokovi

Mini blokovi su pojedinačni, ili dupleks uređaji, koji se najčešće sastoje od jedne komore, nešto ređe od nekoliko komora, u kojoj se odigravaju faze operacija prečišćavanja u pojedinim zonama komore (jednokomorni uređaji), koje se međusobno prepliću, odnosno koje nisu striktno izdvojeni u zasebne zapremine, mada se deo operacija može izdvojiti i u zasebne, međusobno spojene zapremine, u okviru istog uređaja (višekomorni uređaji). Odgovarajući grafički prilozima za neke tipove mini blokova, francuske proizvodnje, su dati na slici 2.

Slika 2 - Neki tipovi miniblokova francuske konstrukcije



2.1.1.2. Tehnološke linije - bio blokovi

Osnovna postavka bio blokova (slika 3) je postavka u obliku tehničko-tehnološke linije međusobno povezanih uređaja u kojima se obavljaju po jedna ili više tehnoloških operacija, postavljenih u zajedničko zatvoreno kućište, najčešće tipa kontejnera. Upravljanje uređajima je visoko automatizovano i centralizovano, tako da bio blokovi isključuju faktor ljudskog rada, osim za kontrolu i održavanje postrojenja. Stoga se ovi uređaji postavljaju u i situacijama u kojima nije moguća postavka ozbiljnije tehničke službe za rad postrojenja.

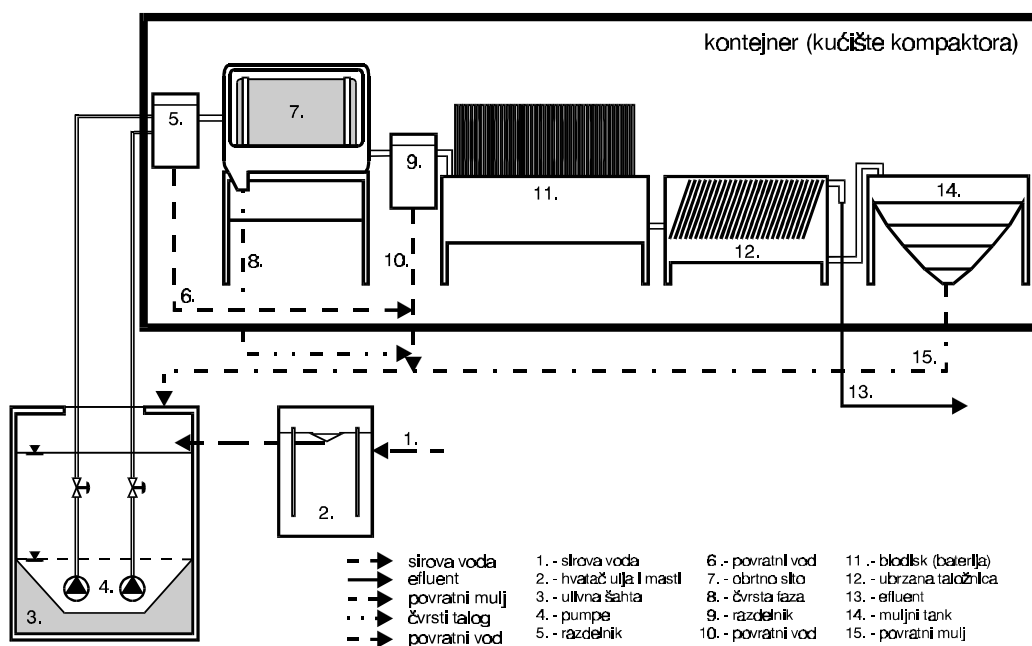
Proširivanje kapaciteta, sezonski kapacitet, kao i jako visoke promene kapaciteta u toku radnog perioda (red veličine više nedelja) se kod bio blokova određuje postavkom više paralelnih linija u okviru jednog, ili više zajedničkih kućišta - kontejnera. Oscilacije kapaciteta kod bio blokova se regulišu brojem bio jedinica u okviru jedne tehnološke linije. Ovakva fleksibilnost je interesantna za turističke komplekse, posebno sezonske hotelske, ugostiteljske i slične objekte sa velikim razlikama u sezonskim opterećenjima.

Bio blokovi se tako postavljaju, da se u okviru jedne tehnološke linije lako mogu prihvatati značajne oscilacije kapaciteta u širim granicama, tako što se osnovni delovi izrađuju od bio jedinica, najčešće bio diskova, koji se mogu lako uključivati i isključivati iz rada, zavisno od konkretnog trenutnog opterećenja postrojenja. Ovakva fleksibilnost je interesantna za ugostiteljske oaze, velike motele, kao i slične objekte sa velikim amplitudama nedeljnih opterećenja.

Sa stanovišta naselja i problematike komunalnih otpadnih voda, ovakva postrojenja su interesantna za seoska i prigradska naselja, koja iz bilo kog razloga ne mogu da se povežu u regionalnu kanalizacionu mrežu, za koju se može postaviti postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda realnih kapaciteta.

Naravno, prilikom opredeljivanja se isključuje postavka ovakvih postrojenja u naseljima sa industrijskim objektima, posebno hemijske, mašinske i sličnih industrija, pošto ovakva postrojenja mogu isključivo da tretiraju komunalne (sanitarne) otpadne vode promenljivih opterećenja, a ne kombinovane, industrijske i komunalne otpadne vode.

Slika 3 - Linija za prečišćavanje otpadnih voda - bio blok



3. MALA POSTROJENJA

3.1. Tehničko-tehnološko rešenje postrojenja

Postrojenja za tretman komunalnih otpadnih voda, hidrauličkih opterećenja u opsegu od 2 500 - 10 000 ES, mogu se primenjivati za veći broj naselja, malih gradskih zajednica bez značajnije razvijenih industrijskih pogona (25% naselja u Srbiji, 20% stanovništva).

Za navedene hidrauličke kapacitete postrojenje mora biti značajno fleksibilno, pošto oscilacije hidrauličkog opterećenja, a posebno organskog opterećenja, mogu biti značajne, pa čak i u okviru vremenske odrednice od jedne dekade.

Stoga je naročito značajna postavka postrojenja kao dve paralelne linije od po polovine kapaciteta.

Opterećenje postrojenja muljem predstavlja za opterećenje oko 10 000 ES problem kod ovih postrojenja, pošto primarnog mulja nema uvek dovoljno, kako po kvantitetu, tako i po kvalitetu, a postavljanje bioaeracionih postrojenja sa aktivnim muljem stvara otpadni izreagovani aktivni mulj, za koje je neophodan dalji tretman.

Za ovako postavljenu problematiku mulja mora se postaviti značajno fleksibilna tehnologija, pa je rešenje sa aerobnom stabilizacijom mulja u bioaeracionom procesu obrade, tokom postupka produžene aeracije, sa povratnim muljem visoko povoljno za naše uslove. Ovaj tip stabilizacije mulja omogućava da se dalji tretman može svoditi isključivo na fizičke postupke, koji se lako regulišu i podnose visoke oscilacije u kvantitetu.

Za najmanja opterećenja od 1 250 ES, često nije neophodan ni konstatni tretman otpadnog mulja, već se postrojenje može tako postaviti da se samo povremeno bioaeraciona linija čistiti od nagomilanog viška mulja.

3.1.1. Linija vode

Aerobni tretman otpadne vode se vrši u jedinstvenom sistemu otpadne vode, odnosno nema odvajanja linija vode i mulja, tako da se pod aerobnim uslovima prečišćavaju zajedno otpadna voda i primarni mulj, bioaeracionim tretmanom sa aktivnim muljem. Istovremeno sa tretmanom otpadne vode, vrši se i aerobna stabilizacija mase kombinovanog mulja u istom bioaeracionom bazenu. Iz bioaeracionog bazena izlazi smeša tretirane otpadne vode i aerobno stabilizovanog mulja.

Operacije, koje se koriste za zajednički tretman otpadne vode i mulja, koje spadaju u liniju vode, su:

- podizanje na hidraulički definisanu kotu koja omogućava gravitacioni protok vode kroz postrojenje
- mehanička separacija rešetkama
- gravitaciona separacija peska u aerisanim peskolovima
- aerobni tretman sa aktivnim muljem u bioaeracionom bazenu sa povratnim muljem, tehnologijom produžene aeracije
- gravitaciona separacija tretirane vode i mulja u mehaničkom dekanteru

Posle aerobne stabilizacije u bioaeracionom tretmanu, razdeljuju se faze na liniju vode i liniju mulja, kako bi se nezavisno upravljalo tretmanom vode i tretmanom otpadnog mulja.

Linija vode kod postrojenja svih kapaciteta je uniformna i bazira na tehnologiji aerobne obrade aktivnim muljem tipa produžene aeracije, sa povratnim muljem. Pored navedenih operacija, u liniju vode se postavlja još i izlivna građevina za upuštanje tretirane otpadne vode u odabrani recipijent.

3.1.2. Linija mulja

Linija mulja je potpuno nezavisna od hidrauličkih kapaciteta postrojenja. Za hidrauličko opterećenje < 10 000 ES linija mulja sadrži sledeće operacije:

- gravitaciono ugušćavanje u muljnom ugušćivaču
- ocedivanja na poroznoj podlozi (pesku i šljunku) na poljima za mulj
- prirodno sušenje mulja na vazduhu
- evakuacija ocedenog i prosušenog mulja

3.1.3. Tehnologija prečišćavanja

Otpadna voda se dovodi na hidraulički definisanu kotu koja omogućava gravitacioni protok vode kroz sve objekte na postrojenju. Treba težiti da se ulivanje u recipijent vrši gravitaciono, a ukoliko to nije moguće potrebno je predvideti crpnu stanicu za prečišćenu vodu.

Nakon podizanja na hidraulički definisanu kotu, otpadna voda odlazi na automatsku rešetku i nakon uklanjanja grubih mehaničkih nečistoća otpadna voda ulazi u kružni peskolov. U peskolovu se istaložavaju mineralne lako taložljive supstance (inertno taloženje), a otpadna voda centralnog preliva se izvodi iz peskolova.

Mehanički prečišćena voda izlazi iz peskolova i prolazi kroz merni kanal Venturijevog tipa koji leži duž glavne ose postrojenja i vodi do razdelnog šahta.

Od razdelnog šahta otpadna voda se deli na dva dela ($1/2 Q + 1/2 Q$) i odlazi u kombinovane objekte, bioaeracione bazene i naknadne taložnike, gde se vrše biološki procesi prečišćavanja. Bioaeracija se vrši mamut rotorima koji su montirani na površini bioaeracionog bazena, po dva mamuta rotora na svaki bioaeracioni bazen. U biološkom delu postrojenja se vrši razgradnja rastvorenih organskih materija metodom sa aktivnim muljem, u vremenu i količini kiseonika potrebnoj za aerobnu stabilizaciju izreagovalog aktivnog mulja.

Istaloženi mulj sa dna naknadnih taložnika gravitaciono otiče do crpne stanice za recirkulaciju mulja odakle se prepumpava, prolazeći kroz šaht za regulaciju mulja, ili nazad u proces do razdelnog šahta ili u silos za mulj.

U silosu za mulj, gravitacionom zgušnjivaču, mulj odležava jedan određeni period (oko 2 dana), a zatim se kroz muljnu šahtu silosa za mulj vrši evakuacija ugušćenog mulja muljnim pumpama, do polja za sušenje mulja. Ocedivanje mulja na poljima je gravitaciono, kroz poroznu podlogu. Dehidracija ocedenog i ugušćenog mulja se vrši prirodnim sušenjem mulja na otvorenim poljima za sušenje.

Ispod podloge za proceđivanje mulja na poljima za sušenje se nalazi drenažni cevni sistem za evakuaciju proceđene vode.

Postrojenje bi trebalo izvesti na nasutom platou tako da se prečišćena voda iz naknadnog taložnika gravitaciono dovodi do izlivne građevine. Ukoliko to nije moguće, zbog konfiguracije terena na lokaciji postrojenja, potrebno je predvideti crpnu stanicu za prečišćenu vodu koja prebacuje prečišćenu vodu u recipijent.

Sve nadmuljne vode, kao i upotrebljene vode iz upravno-pogonske zgrade, radionice i slično, takođe se prečišćavaju na ovom postrojenju tako da se cevovodom interne kanalizacije na postrojenju odvede do crpne stanice za primarno dizanje otpadne vode.

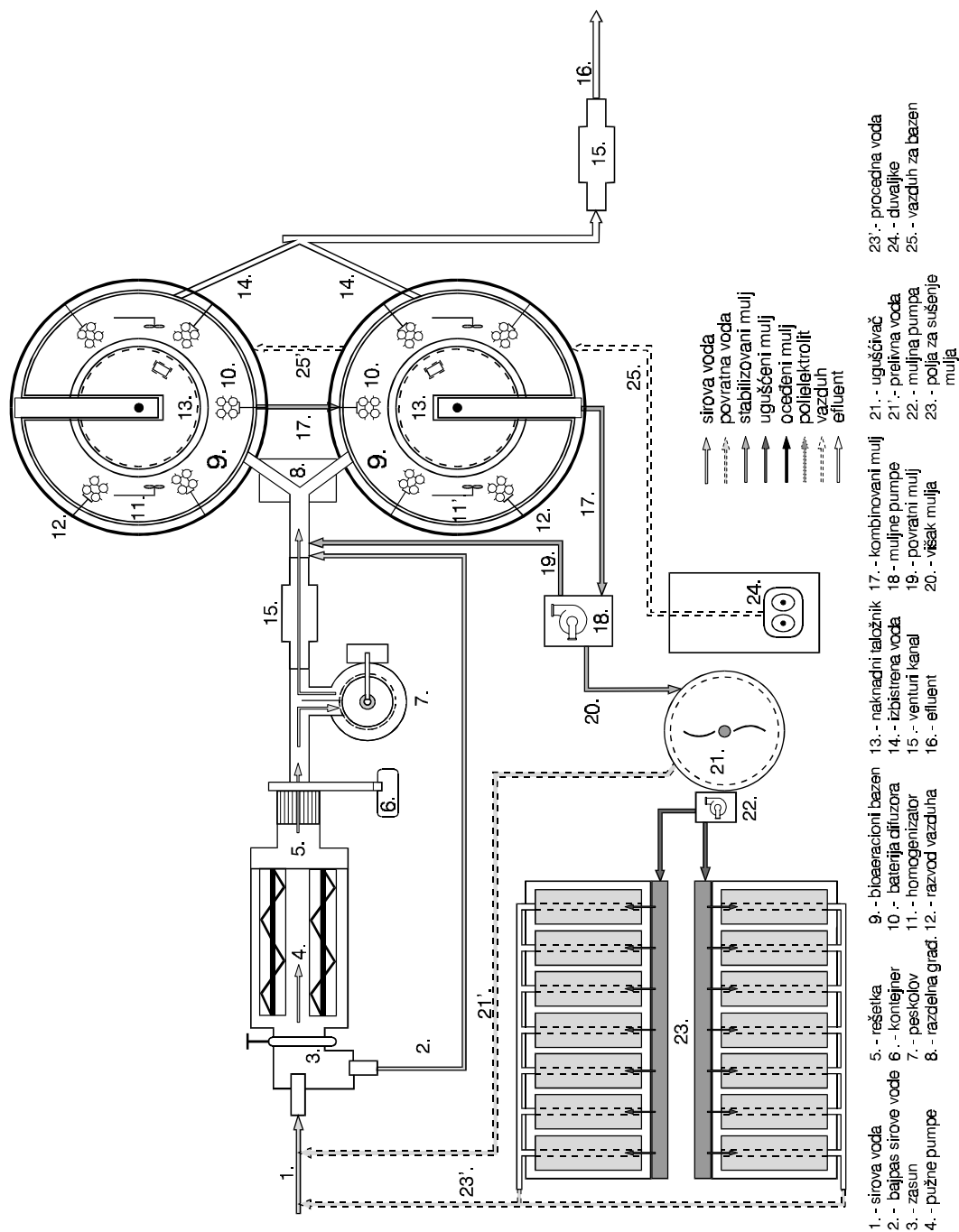
Unos kiseonika u bioaeracioni bazen se može vršiti na više načina. Danas se može smatrati da su dva najpouzdanija metoda:

- unos kiseonika potpoljenim mamut rotorima - "četkama"
- unos kiseonika potopljenim difuzorima - baterije "tepih" difuzora

U ovoj publikaciji kompletni proračuni će biti urađeni za, do sada pouzdanije i više ispitane mamut rotore, mada nova tehnička rešenja potopljenih difuzora daju mogućnost i njihovog efikasnijeg korišćenja u navedenim postrojenjima.

Blok šema postrojenje za opterećenja od 2 500 - 10 000 ES je data na slici 4. Kako je proračun rađen za postrojenja sa rotorima za uduvanje vazduha, na slici 4 je šema postrojenja sa potopljenim difuzorima.

Slika 4 - Linija za prečišćavanje otpadnih voda sa fizičkim tretmanom mulja (za hidrauličko opterećenje u opsegu od 2 500 ES - 10 000 ES)



2. EKSTREMNO MALA POSTROJENJA

2.1. KOMPAKTNA POSTROJENJA KAPACITETA DO 2 500 ES

Postrojenja za tretman komunalnih (sanitarnih) otpadnih voda, hidrauličkih opterećenja ispod 2 000 ES, mogu se primenjivati za manja naselja, turističke oaze, veće ugostiteljske komplekse, kao i pojedinačne industrijske objekte, pre svega prehrambene industrije, srednjih kapaciteta (65% naselja u Srbiji, 15% stanovništva).

Problematika obuhvata postavku postrojenja za tretman komunalnih otpadnih voda kapaciteta od 100 - 2 000 ES.

Za naše uslove minimalni kapacitet, za koji je uputno postavljati postrojenja, može da se definiše sa hidrauličkim opterećenjem od 500 ES (15% naselja u Srbiji, 1% stanovništva).

Ovakvi kapaciteti su realniji za veće ugostiteljske objekte, ili manje ugostiteljske komplekse, dislocirane objekte prehrambene industrije manjih kapaciteta i slične objekte.

Uobičajeno kapaciteti od 500 ES nisu adekvatni za naseljena mesta kod nas, posebno sa aspekta postojanja zajedničkih kanalizacionih voda, industrijskih i komunalnih, naročito u manjim naseljenim mestima, čime se hidraulička opterećenja podižu iznad 500 ES kod svih mesta koja su sa opterećenjem komunalnih otpadnih voda do 400 ES, što je minimalno opterećenje za seosko naselje.

Većina seoskih naselja, posebno ona sa pojedinačnim dislociranim industrijskim postrojenjima, postavlja se u okvire hidrauličkih opterećenja od 1 000 - 2 000 ES (30% naselja u Srbiji, 10% stanovništva).

Praktično nema gradskog naselja u našoj zemlji, čije se opterećenje može normirati sa manje od 2 500 ES, a i mnoga sela, bilo brojčano veća, bilo sa uobičajenim razvojem industrijskih kapaciteta, moraju se normirati na sličan način.

Usled navedenih pokaznica ovakva postrojenja neće biti značajnije obrađivana u ovoj publikaciji, niti će biti izvođen hidraulički i tehnološki proračun za postrojenja hidrauličkih kapaciteta do 2 000 ES.

2.1.1. Tehničko-tehnološka rešenja postrojenja

Za tako male hidrauličke kapacitete postrojenje mora biti visoko fleksibilno, pošto su oscilacije hidrauličkog opterećenja, a posebno organskog opterećenja, jako visoke, pa čak i u okviru vremenske jedinice kapaciteta, jednog sata.

Opterećenje postrojenja muljem predstavlja poseban problem ovih postrojenja, pošto primarnog mulja ima nedovoljno, kako po kvantitetu, tako i po kvalitetu. Postavljanjem bioaeracionih postrojenja sa aktivnim muljem bi se otpadnim izreagovalim aktivnim muljem stvarao problem otpadnog mulja iz ovih postrojenja, jer bi njihov dalji neophodan tretman bio veliki problem, obzirom na kapacitet mulja pri ovakvim hidrauličkim opterećenjima.

Stoga se kod ovih postrojenja ne razdeljuju niti faze, linija vode i linija mulja, niti korišćene tehnološke operacije u značajnijem stepenu, već se tretira kompletna komunalna otpadna voda sa sve muljem u visokofleksibilnim uređajima, u kojima se uobičajeno obavljaju sve potrebne tehnološke operacije za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda.

Što je hidrauličko opterećenje bliže 500 ES, smanjuje se broj upotrebljenih uređaja u postrojenju, a povećava broj operacija koje se vrše u uređajima.

Obratno, što je hidrauličko opterećenje bliže 2 000 ES, to se povećava broj upotrebljenih uređaja u postrojenju, a smanjuje broj operacija koje se vrše u uređajima.

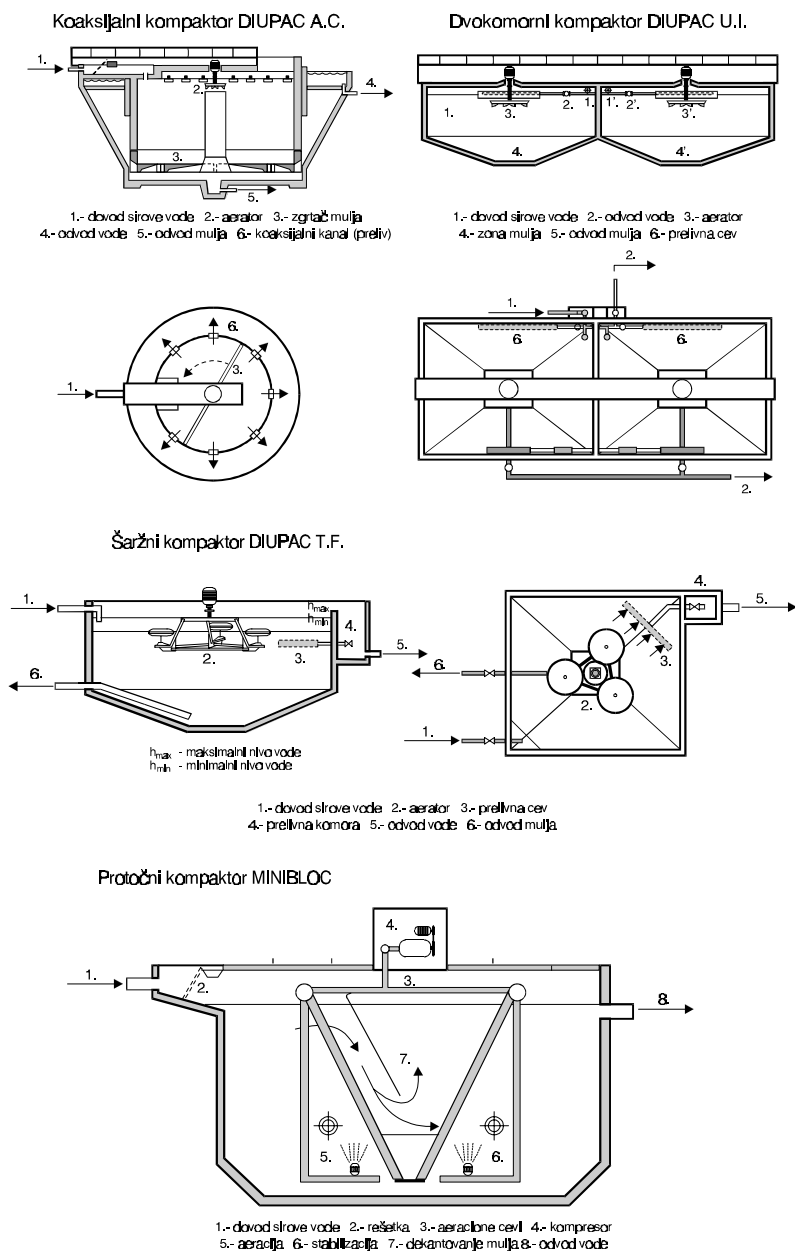
Za postrojenja sa opterećenjima bližim 500 ES se upotrebljavaju složeni uređaji - različiti tipovi mini blokova - kompaktora (slika 1), a za opterećenja od 1 000 - 2 000 ES se upotrebljavaju tehničko-tehnološke linije - bio blokovi (slika 2).

2.1.1.1. Mini blokovi

Slika 1. - Mini blokovi

Mini blokovi su pojedinačni, ili dupleks uređaji, koji se najčešće sastoje od jedne komore, nešto ređe od nekoliko komora, u kojoj se odigravaju faze operacija prečišćavanja u pojedinim zonama komore (jednokomorni uređaji), koje se međusobno prepliću, odnosno koje nisu striktno izdvojeni u zasebne zapremine, mada se deo operacija može izdvojiti i u zasebne, međusobno spojene zapremine, u okviru istog uređaja (višekomorni uređaji). Odgovarajući grafički prilozima za neke tipove mini blokova, francuske proizvodnje, su dati na slici 2.

Slika 2 - Neki tipovi miniblokova francuske konstrukcije



2.1.1.2. Tehnološke linije - bio blokovi

Osnovna postavka bio blokova (slika 3) je postavka u obliku tehničko-tehnološke linije međusobno povezanih uređaja u kojima se obavljaju po jedna ili više tehnoloških operacija, postavljenih u zajedničko zatvoreno kućište, najčešće tipa kontejnera. Upravljanje uređajima je visoko automatizovano i centralizovano, tako da bio blokovi isključuju faktor ljudskog rada, osim za kontrolu i održavanje postrojenja. Stoga se ovi uređaji postavljaju u i situacijama u kojima nije moguća postavka ozbiljnije tehničke službe za rad postrojenja.

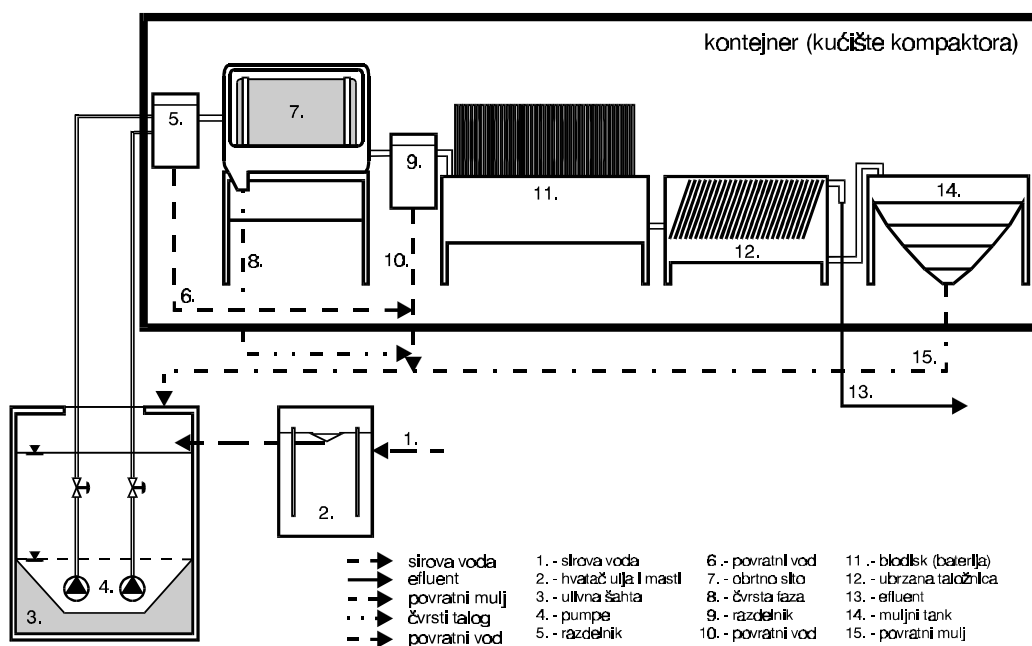
Proširivanje kapaciteta, sezonski kapacitet, kao i jako visoke promene kapaciteta u toku radnog perioda (red veličine više nedelja) se kod bio blokova određuje postavkom više paralelnih linija u okviru jednog, ili više zajedničkih kućišta - kontejnera. Oscilacije kapaciteta kod bio blokova se regulišu brojem bio jedinica u okviru jedne tehnološke linije. Ovakva fleksibilnost je interesantna za turističke komplekse, posebno sezonske hotelske, ugostiteljske i slične objekte sa velikim razlikama u sezonskim opterećenjima.

Bio blokovi se tako postavljaju, da se u okviru jedne tehnološke linije lako mogu prihvatati značajne oscilacije kapaciteta u širim granicama, tako što se osnovni delovi izrađuju od bio jedinica, najčešće bio diskova, koji se mogu lako uključivati i isključivati iz rada, zavisno od konkretnog trenutnog opterećenja postrojenja. Ovakva fleksibilnost je interesantna za ugostiteljske oaze, velike motele, kao i slične objekte sa velikim amplitudama nedeljnih opterećenja.

Sa stanovišta naselja i problematike komunalnih otpadnih voda, ovakva postrojenja su interesantna za seoska i prigradska naselja, koja iz bilo kog razloga ne mogu da se povežu u regionalnu kanalizacionu mrežu, za koju se može postaviti postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda realnih kapaciteta.

Naravno, prilikom opredeljivanja se isključuje postavka ovakvih postrojenja u naseljima sa industrijskim objektima, posebno hemijske, mašinske i sličnih industrija, pošto ovakva postrojenja mogu isključivo da tretiraju komunalne (sanitarne) otpadne vode promenljivih opterećenja, a ne kombinovane, industrijske i komunalne otpadne vode.

Slika 3 - Linija za prečišćavanje otpadnih voda - bio blok



3. MALA POSTROJENJA

3.1. Tehničko-tehnološko rešenje postrojenja

Postrojenja za tretman komunalnih otpadnih voda, hidrauličkih opterećenja u opsegu od 2 500 - 10 000 ES, mogu se primenjivati za veći broj naselja, malih gradskih zajednica bez značajnije razvijenih industrijskih pogona (25% naselja u Srbiji, 20% stanovništva).

Za navedene hidrauličke kapacitete postrojenje mora biti značajno fleksibilno, pošto oscilacije hidrauličkog opterećenja, a posebno organskog opterećenja, mogu biti značajne, pa čak i u okviru vremenske odrednice od jedne dekade.

Stoga je naročito značajna postavka postrojenja kao dve paralelne linije od po polovine kapaciteta.

Opterećenje postrojenja muljem predstavlja za opterećenje oko 10 000 ES problem kod ovih postrojenja, pošto primarnog mulja nema uvek dovoljno, kako po kvantitetu, tako i po kvalitetu, a postavljanje bioaeracionih postrojenja sa aktivnim muljem stvara otpadni izreagovani aktivni mulj, za koje je neophodan dalji tretman.

Za ovako postavljenu problematiku mulja mora se postaviti značajno fleksibilna tehnologija, pa je rešenje sa aerobnom stabilizacijom mulja u bioaeracionom procesu obrade, tokom postupka produžene aeracije, sa povratnim muljem visoko povoljno za naše uslove. Ovaj tip stabilizacije mulja omogućava da se dalji tretman može svoditi isključivo na fizičke postupke, koji se lako regulišu i podnose visoke oscilacije u kvantitetu.

Za najmanja opterećenja od 1 250 ES, često nije neophodan ni konstatni tretman otpadnog mulja, već se postrojenje može tako postaviti da se samo povremeno bioaeraciona linija čistiti od nagomilanog viška mulja.

3.1.1. Linija vode

Aerobni tretman otpadne vode se vrši u jedinstvenom sistemu otpadne vode, odnosno nema odvajanja linija vode i mulja, tako da se pod aerobnim uslovima prečišćavaju zajedno otpadna voda i primarni mulj, bioaeracionim tretmanom sa aktivnim muljem. Istovremeno sa tretmanom otpadne vode, vrši se i aerobna stabilizacija mase kombinovanog mulja u istom bioaeracionom bazenu. Iz bioaeracionog bazena izlazi smeša tretirane otpadne vode i aerobno stabilizovanog mulja.

Operacije, koje se koriste za zajednički tretman otpadne vode i mulja, koje spadaju u liniju vode, su:

- podizanje na hidraulički definisanu kotu koja omogućava gravitacioni protok vode kroz postrojenje
- mehanička separacija rešetkama
- gravitaciona separacija peska u aerisanim peskolovima
- aerobni tretman sa aktivnim muljem u bioaeracionom bazenu sa povratnim muljem, tehnologijom produžene aeracije
- gravitaciona separacija tretirane vode i mulja u mehaničkom dekanteru

Posle aerobne stabilizacije u bioaeracionom tretmanu, razdeljuju se faze na liniju vode i liniju mulja, kako bi se nezavisno upravljalo tretmanom vode i tretmanom otpadnog mulja.

Linija vode kod postrojenja svih kapaciteta je uniformna i bazira na tehnologiji aerobne obrade aktivnim muljem tipa produžene aeracije, sa povratnim muljem. Pored navedenih operacija, u liniju vode se postavlja još i izlivna građevina za upuštanje tretirane otpadne vode u odabrani recipijent.

3.1.2. Linija mulja

Linija mulja je potpuno nezavisna od hidrauličkih kapaciteta postrojenja.
Za hidrauličko opterećenje < 10 000 ES linija mulja sadrži sledeće operacije:

- gravitaciono ugušćavanje u muljnom ugušćivaču
- ocedivanja na poroznoj podlozi (pesku i šljunku) na poljima za mulj
- prirodno sušenje mulja na vazduhu
- evakuacija ocedenog i prosušenog mulja

3.1.3. Tehnologija prečišćavanja

Otpadna voda se dovodi na hidraulički definisanu kotu koja omogućava gravitacioni protok vode kroz sve objekte na postrojenju. Treba težiti da se ulivanje u recipijent vrši gravitaciono, a ukoliko to nije moguće potrebno je predvideti crpnu stanicu za prečišćenu vodu.

Nakon podizanja na hidraulički definisanu kotu, otpadna voda odlazi na automatsku rešetku i nakon uklanjanja grubih mehaničkih nečistoća otpadna voda ulazi u kružni peskolov. U peskolovu se istaložavaju mineralne lako taložljive supstance (inertno taloženje), a otpadna voda centralnog preliva se izvodi iz peskolova.

Mehanički prečišćena voda izlazi iz peskolova i prolazi kroz merni kanal Venturijevo tipa koji leži duž glavne ose postrojenja i vodi do razdelnog šahta.

Od razdelnog šahta otpadna voda se deli na dva dela ($1/2 Q + 1/2 Q$) i odlazi u kombinovane objekte, bioeracione bazene i naknadne taložnike, gde se vrše biološki procesi prečišćavanja. Bioeracija se vrši mamut rotorima koji su montirani na površini bioeracionog bazena, po dva mamut rotora na svaki bioeracioni bazen. U biološkom delu postrojenja se vrši razgradnja rastvorenih organskih materija metodom sa aktivnim muljem, u vremenu i količini kiseonika potrebnoj za aerobnu stabilizaciju izreagovalog aktivnog mulja.

Istaloženi mulj sa dna naknadnih taložnika gravitaciono otiče do crpne stanice za recirkulaciju mulja odakle se prepumpava, prolazeći kroz šaht za regulaciju mulja, ili nazad u proces do razdelnog šahta ili u silos za mulj.

U silosu za mulj, gravitacionom zgušnjivaču, mulj odležava jedan određeni period (oko 2 dana), a zatim se kroz muljnu šahtu silosa za mulj vrši evakuacija ugušćenog mulja muljnim pumpama, do polja za sušenje mulja. Ocedivanje mulja na poljima je gravitaciono, kroz poroznu podlogu. Dehidracija ocedenog i ugušćenog mulja se vrši prirodnim sušenjem mulja na otvorenim poljima za sušenje.

Ispod podloge za procedivanje mulja na poljima za sušenje se nalazi drenažni cevni sistem za evakuaciju procedene vode.

Postrojenje bi trebalo izvesti na nasutom platou tako da se prečišćena voda iz naknadnog taložnika gravitaciono dovodi do izlivne građevine. Ukoliko to nije moguće, zbog konfiguracije terena na lokaciji postrojenja, potrebno je predvideti crpnu stanicu za prečišćenu vodu koja prebacuje prečišćenu vodu u recipijent.

Sve nadmuljne vode, kao i upotrebljene vode iz upravno-pogonske zgrade, radionice i slično, takođe se prečišćavaju na ovom postrojenju tako da se cevovodom interne kanalizacije na postrojenju odvede do crpne stanice za primarno dizanje otpadne vode.

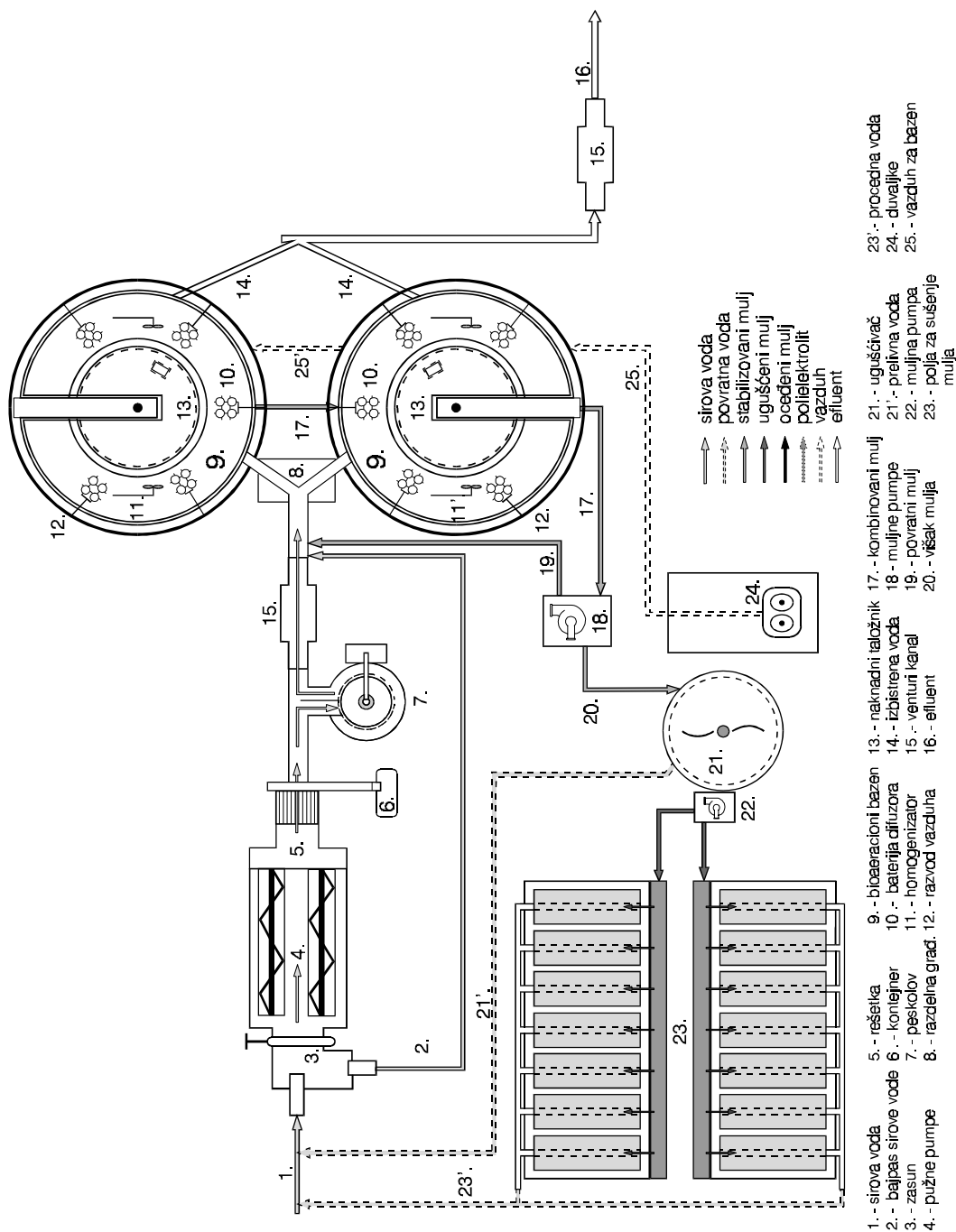
Unos kiseonika u bioeracioni bazen se može vršiti na više načina. Danas se može smatrati da su dva najpouzdanija metoda:

- unos kiseonika potpoljenim mamut rotorima - "četkama"
- unos kiseonika potopljenim difuzorima - baterije "tepih" difuzora

U ovoj publikaciji kompletni proračuni će biti urađeni za, do sada pouzdanije i više ispitane mamut rotore, mada nova tehnička rešenja potopljenih difuzora daju mogućnost i njihovog efikasnijeg korišćenja u navedenim postrojenjima.

Blok šema postrojenja za opterećenja od 2 500 - 10 000 ES je data na slici 4. Kako je proračun rađen za postrojenja sa rotorima za udvavanje vazduha, na slici 4 je šema postrojenja sa potopljenim difuzorima.

Slika 4 - Linija za prečišćavanje otpadnih voda sa fizičkim tretmanom mulja
(za hidrauličko opterećenje u opsegu od 2 500 ES - 10 000 ES)



3.2. POSTROJENJE KAPACITETA OD 2 500 ES

– Hidrauličko opterećenje postrojenja

Hidrauličko opterećenje postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, za kapacitet od 2 500 ES, preračunava se iz sledećih relacija:

- broj ekvivalentnih stanovnika: $N_{ES} = 2\ 500\ ES$
- norma otpadnih voda: $q_{ES} = 250\ l/ES\ na\ dan$
- srednje dnevno hidrauličko opterećenje se preračunava iz relacije:
 $Q_{sr}^d = N_{ES} \cdot q_{ES} = 2500 \cdot 0.25 = 625\ m^3\ na\ dan = 26.04\ m^3 / h = 7.23\ l / s$
- usvaja se koeficijent neravnomernosti: $K_{op} = 1.95$
- maksimalno časovno hidrauličko opterećenje se određuje iz relacije:
 $Q_{max}^h = Q_{sr}^d \cdot K_{op} = 625 \cdot 1.95 = 1218.75\ m^3\ na\ dan = 50.78\ m^3 / h = 14.10\ l / s$

Usvaja se maksimalno hidrauličko opterećenje od: $Q_{max}^h = 14.50\ l/s$

– Biološko opterećenje postrojenja

Biološko opterećenje postrojenja za prečišćavanje upotrebljenih voda, za kapacitet od 2 500 ES, izračunava se na osnovu specifičnog biološkog opterećenja izraženog preko biološke potrošnje kiseonika (BPK₅) po ekvivalentnom stanovniku na dan:

$$b_{spec} = 70\ g\ O_2(BPK_5)\ po\ ES\ na\ dan$$

Na taj način, izračunava se biološko opterećenje postrojenja iz relacije:

$$B(kg\ BPK_5\ na\ dan) = N_{ES} \cdot b_{spec} = 2500 \cdot 0.07 = 175$$

– Osnovni parametri i šema postupka

Osnovni parametar prilikom izbora tehnološke šeme prečišćavanja otpadnih voda je zahtevani kvalitet finalnog efluenta pre upuštanja u recipijent. Uobičajeno se prečišćene otpadne vode iz gradskih postrojenja smeju ispuštati u recipijent pod sledećim parametrima kvaliteta:

- $C_{BPK_5} = 25\ mgO_2/l$ (bez nitrifikacije), uz minimalan stepen redukcije 70%-90%
- $C_{HPK} = 125\ mgO_2/l$, uz minimalan stepen redukcije 75%
- $C_{susp. materije} = 35\ mg/l$, uz minimalan stepen redukcije 90%

Za postrojenje za prečišćavanje upotrebljenih voda veličine 2500 ES, koje inače spada u manje uređaje, najprikladniji način prerade je tzv. "extended aeration" (produžena aeracija) sa istovremenom stabilizacijom mulja.

Ovakav koncept prečišćavanja otpadnih voda se pokazao kao veoma pogodan u praksi iz razloga što je u mogućnosti da prati "udare" opterećenja bez dogradnje novih objekata i ugradnje nove opreme. Takođe je veoma fleksibilan u pogledu proširenja kapaciteta uređaja u koliko se prilikom eksploatacije ukaže potreba, odnosno u koliko planirani kapacitet nije u stanju da podmiri novonastale potrebe.

Navedeni proces prečišćavanja se sastoji od mehaničko-biološkog procesa pri čemu se u mehaničkom delu posle primarnog dizanja otpadnih voda, iz istih na automatskoj rešetki otklanjaju preostali čvrsti otpatci određenog prečnika (dimenzije veće od svetlog otvora rešetke), a zatim se u peskolovu vrši istaložavanje peska i ostalih lakotaložljivih supstanci (inertno taloženje). U biološkom delu postrojenja se vrši razgradnja rastvorenih organskih materija metodom sa aktivnim muljem, u vremenu i količini kiseonika potrebnoj za aerobnu stabilizaciju izreagovalog aktivnog mulja.

Istaloženi mulj zgrće se na dnu naknadnog taložnika i odatle se cevovodom transportuje do šahta gde se nalaze potopljene muljne pumpe pomoću kojih se vrši recirkulacija aktivnog mulja i prebacivanje viška mulja na dalji tretman u silos za mulj, gde se vrši gravitaciono ugušćivanje mulja. Kada se u toku rada postrojenja konstatuje višak aktivnog mulja, evakuise se preko šahte za regulaciju protoka mulja, u objekat za zgušnjavanje mulja, gde odležava jedan određeni period. Pri tome se nadmuljna voda vraća nazad u proces, a ugušćeni mulj gravitaciono ispušta u polja za sušenje mulja. Nakon dehidratacije, mulj je inertan, sakuplja se i odnosi na deponiju ili koristi kao proizvodno visokovredno đubrivo.

Tehnološka šema uređaja predviđena je po sledećim celinama:

- ulazna pužna crpna stanica,
- automatska rešetka,
- peskolov,
- merni objekat,
- aeracija sa istovremenom aerobnom stabilizacijom mulja,
- naknadni taložnik,
- recirkulacija mulja,
- zgušnjavanje mulja,
- dehidratacija mulja.

Posmatrano prema liniji vode, odnosno prema liniji mulja, može se izvršiti podela objekata kako sledi i to:

Linija vode:

- ulazna crpna stanica,
- automatska rešetka,
- peskolov,
- venturijev merni kanal,
- bioaeracioni bazen,
- naknadni taložnik;
- crpna stanica za transport prečišćene vode do recipijenta.

Linija mulja:

- crpna stanica za recirkulaciju mulja,
- zgušnjivač mulja,
- polja za sušenje mulja.

Ostali objekti:

- upravno-pogonska zgrada,
- objekti neposredne sanitarne zaštite (žičana ograda i tabla upozorenja),
- zelene površine u krugu objekta.

Na ovom mestu potrebno je naglasiti da je deo postrojenja za biološki tretman i taloženje aktivnog mulja izveden u vidu kombinovanog objekta - mono bloka, pa iz tih razloga zauzima značajno manje prostora u odnosu na nekompaktno projektovane sisteme, tj. sisteme kod kojih su bioaeracioni bazen i naknadni taložnik predviđeni kao razdvojene, konstruktivno nezavisne celine.

3.2.1. Dimenzionisanje objekata

Prilikom izbora opreme postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, kao jedan od osnovnih polaznih kriterijuma je taj da se kompletna oprema za sve objekte odabere u okvirima domaće proizvodnje. Analizom ponuđenih proizvodnih programa domaćih proizvođača, a u cilju obezbeđenja sigurnog pogona sa mogućnošću ispunjenja svih postavljenih uslova za kvalitetom finalnog efluenta, predlaže se izbor hidromašinske opreme prema specijalizovanim proizvodnim programima domaćih proizvođača "Eko-Vodo Inženjering" iz Beograda, "Jastrebac" iz Niša i "Sever" iz Subotice, ... i.t.d., a sva izabrana oprema je saglasna sa standardima evropskih proizvođača (Passavant Werke).

3.2.1.1. Linija vode

– Pužna crpna stanica

Na kraju fekalne kanalizacione mreže, posle poslednjeg šahta, na ulazu u postrojenje neophodno je izgraditi crpnu stanicu kojom će se sakupljene otpadne vode izdići na potreban nivo, tako da na dalje voda gravitaciono teče kroz objekte postrojenja.

Kao oprema crpne stanice predlaže se ugradnja pužnih pumpnih agregata obzirom na njihovu veoma malu, zapravo beznačajnu osetljivost na primese koje sobom nose fekalne otpadne vode. Takođe, pužne pumpe rade efikasno i sa znatno smanjenim dotokom od nominalnog, tako da im praktično ne smeta ni rad "na prazno". Kontinuirani rad pužnih pumpi sprečava taloženje, a time i truljenje mulja u kanalskoj vodi, čime se sprečava širenje neugodnih mirisa iz ovakvih objekata. Osim toga, siguran i dugotrajan rad pužnih pumpi obezbeđen je relativno malim brojem obrtaja, kao i robusnom konstrukcijom celog agregata.

Sabirno okno se kod pužnih pumpi gradi relativno plitko, odmah ispod dna dovodnog kanalizacionog kolektora, čime su smanjeni troškovi i teškoće zbog dubljeg ukopavanja crpnog bazena, koji je potreban kod ostalih tipova pumpi. Takođe, korito pužnih pumpi postepenim usponom izlazi iz velikih dubina, tako da pri građenju nema znatnijih problema nego pri građenju dovodnog kolektora.

Pužna crpna stanica se dimenzioniše na određeno maksimalno opterećenje od 14.5 l/s. Usvajaju se dve pužne pumpe kapaciteta po 14.5 l/s (jedna radna i jedna rezervna).

– Automatska rešetka

Kao prvi objekat predtretmana, prema prethodno usvojenoj i obrazloženoj tehnološkoj šemi, predviđena je automatska rešetka. U današnje vreme, izražena je tendencija izgradnje postrojenja za prečišćavanje upotrebljenih voda sa što višim efektom predtretmana. Naime, čest je slučaj u praksi, da se realizuju samo mehanički delovi sistema za prečišćavanje, tako da je potrebno postići što efikasniji predtretman radi zaštite recipijenta, a i sa povećanjem stepena mehaničkog predtretmana dolazi do sniženja organskog opterećenja biološkog stepena obrade, što dovodi, kako do smanjenja gabarita tih objekata, tako i do snižavanja energetske troškova. U slučaju da dođe do začepljenja rešetke ili zastoja u radu, tada otpadna voda teče zaobilaznim kanalom, "bypass" - om, preko ravne rešetke sa ručnim čišćenjem.

Sakupljeni otpad se sa automatske rešetke odbacuje u betonsko korito, odakle se dalje odlaže u kontejnere. Otpad se iz kontejnera odnosi na deponiju gradskog smeća.

Automatska rešetka se dimenzioniše na maksimalno opterećenje koje iznosi 14.5 l/s.

Predlaže se usvajanje lučne rešetke koja se radi po ugledu na rešetku "Unioninvest", po licenci "Passavant Werke" i koja se ugrađuje u kanal pravougaonog poprečnog preseka sledećih karakteristika:

- širina kanala: $B = 40 \text{ cm}$
- ukupna visina kanala: $H = 80 \text{ cm}$

Karakteristike "bypass" kanala su sledeće:

- širina "bypass" kanala: $B = 40 \text{ cm}$
- ukupna visina "bypass" kanala: $H = 80 \text{ cm}$.

– **Peskolov**

Za izdvajanje težih, uglavnom mineralnih sastojaka kao što je pesak, iz otpadnih voda, u okviru predložene tehnologije prečišćavanja predviđena je izgradnja taložnika za pesak, tzv. peskolova koji se u principu locira na svim postrojenjima. Peskolov funkcioniše na principu smirivanja toka vode, ali samo toliko da se omogući taloženje specifično težih čestica peska. Da bi se održala stalna brzina vode u peskolovu, treba predvideti ugradnju mešalice koja se okreće konstantnom brzinom i održava stalnu brzinu vode, čime je sprečeno taloženje organskih materija.

Istaloženi mineralni materijal se iz peskolova evakuše mamut pumpom u procedni šaht neposredno pored peskolova, a koji konstruktivno čini deo ovog objekta. Voda se vraća nazad u proces, a pesak odvozi na deponiju.

Usvaja se da vreme zadržavanja (retenzije), za $Q_{\max}^h = 50.71 \text{ m}^3/\text{h}$, iznosi $t = 6 \text{ min}$.

Na taj način, potrebna korisna zapremina peskolova za maksimalno časovno optrećenje iznosi:

$$V(\text{m}^3) = \frac{t \cdot Q_{\max}^h}{60} = \frac{6 \cdot 50.71}{60} = 5.07$$

Predlaže se kružni peskolov, sa karakteristikama peskolova tipa "Pista" po ugledu na peskolov "Unioninvest", po licenci "Passavant - Werke" tip 2 - 25, tako da se dobija:

- prečnik peskolova: $D_p = 2.5 \text{ m}$
- korisna zapremina peskolova: $V_p = 5.2 \text{ m}^3$
- vreme zadržavanja: $t = 6 \text{ min}$

– **Merni kanal**

Nakon prolaska kroz peskolov, a pre raspodele i odlaska ka bioaeracionim bazenima, voda prolazi kroz merni uređaj za merenje proticaja tipa Venturi, kapaciteta 14.5 l/s .

– **Bioaeracioni bazen**

U procesu obrade otpadnih voda biološkim prečišćavanjem teži se da se u što većoj meri iz influenta uklone biološki razgradljive organske materije čime se postiže sniženje BPK zagađenih voda.

Kod procesa sa aktivnim muljem kontaktna površina za prenos kiseonika se ostvaruje preko formirane mase pahuljica mulja - aktivnog mulja. Kiseonik se unosi uduvanjem vazduha ili mehaničkom izmenom mase otpadne vode u neposrednom kontaktu sa vazduhom. Organska

materija u otpadnoj vodi služi kao hrana-energent mikroorganizmima, najčešće bakterijama, u aktivnom mulju.

Ekstracelularnom razgradnjom složenih organskih materija u aerobnim uslovima nastaju niže molekulske organske materije, koje se mogu transportovati unutar ćelija bakterija. Unutar ćelija dolazi do intracelularne razgradnje niže molekulskih organskih materija pod dejstvom enzima. Ovom prilikom se oslobađa energija, koja se koristi najvećim delom za metaboličke procese ćelija, a manjim delom se odaje u okolnu sredinu. Od ostataka organskih materija, koje čine gradivne jedinice, kao i od oslobođene energije, kojom se formiraju energetske gradivne jedinice, dolazi do nastajanja nove biomase u aktivnom mulju. Takođe, mineralizovani deo ostataka organskih materija se zadržava u pahuljama aktivnog mulja. Sve ovo čini da aktivni mulj postaje teži, pa gravitaciono brže tone.

Deo ćelija u aktivnom mulju sa vremenom odumire. Njihova biomasa služi kao hrana živim ćelijama aktivnog mulja, a mineralizovani ostaci mrtvih ćelija uvećavaju masu pahulje aktivnog mulja.

Posle određenog vremena broj aktivnih ćelija u pahulji u odnosu na masu pahulje toliko padne, da pahulja više nema efikasnost potrebnu za biohemijske i metaboličke procese u razgradnji organskih materija iz otpadne vode. Ovako degradirane pahulje treba evakuisati iz otpadne vode, kako bi se forsirale sveže formirane i visoko aktivne pahulje mulja. "Stare" izreagovale pahulje mulja su gravitaciono teže od svežih pahulja, te se mogu međusobno razdvajati gravitaciono.

Tokom metaboličkih procesa aktivni mulj prolazi kroz dve faze: faze izgradnje ćelija (nastajanje nove biomase) i faze razgradnje ćelija (odumiranje izreagovale biomase), koje se odvijaju istovremeno, u okviru bioaeracionog bazena, a izdvajanje aktivnog mulja iz otpadne vode se vrši gravitaciono u naknadnom taložniku.

Mešavina zagađene vode (influenta) i aktivnog mulja iz bioaeracionog bazena neprestano otiče u naknadni taložnik radi gravitacionog izdvajanja biomase aktivnog mulja. Iz naknadnog taložnika prečišćena voda (efluent) odlazi prema daljem tretmanu. Istaložene pahuljice mulja neprekidno se vraćaju u bioaeracioni bazen radi mešanja sa novom količinom zagađene vode.

Aktivni mulj mora da se održava u suspenziji u toku kontakta sa zagađenom vodom koja se prečišćava, stalnom agitacijom - kretanjem influenta, tako da se postupak sastoji od sledećih operacija:

- mešanje influenta sa zagađenom vodom koja se prerađuje,
- aeracija i agitacija ove mešavine za potreban vremenski period, u bioaeracionom bazenu,
- odvajanje - separacija aktivnog mulja iz mešavine, u sekundarnom taložniku,
- vraćanje odgovarajuće količine aktivnog mulja (povratni mulj) u cilju ponovnog mešanja sa influentom,
- odstranjivanje i dispozicija viška aktivnog mulja.

U bioaeracionom bazenu se vrši transformacija organskih materija u energiju i živu materiju (biocenoza) mikroorganizama - aktivni mulj koji se izdvaja taloženjem u sekundarnom taložniku, odakle se veći deo recirkuliše do bioaeracionog bazena i meša uz intenzivnu aeraciju sa influentom, dok se drugi, manji deo aktivnog mulja, kao višak, šalje na dalji tretman mulja.

Kako je objašnjeno u prethodnim poglavljima ovog projekta, zahtevani kvalitet finalnog efluenta može se postići tzv. postupkom produžene aeracije. Naime, trajanje aeracije se tada uzima od 18- 36^h, posmatrano za srednje dnevne količine otpadnih voda.

Dimenzionisanje bioaeracionog bazena izvršeno je na sledeći način:

- hidrauličko opterećenje iznosi: $Q_{sr}^d = 7.23 \text{ l/s} = 625.00 \text{ m}^3 \text{ na dan} = 26.04 \text{ m}^3/\text{h}$
- biološko opterećenje influenta iznosi: $B = 175 \text{ kgBPK}_5 \text{ na dan} = 7.29 \text{ kg BPK}_5/\text{h}$
- koncentracija BPK_5 u sirovoj vodi iznosi: $C_{\text{BPK}_5, \text{inf}} = 280 \text{ mg/l}$
- zahtevana koncentracija BPK_5 u finalnom efluentu iznosi: $C_{\text{BPK}_5, \text{dozv}} = 25 \text{ mg/l}$
- potrebno biološko opterećenje bioaeracionog bazena za produženu aeraciju po jedinici zapremine bazena kreće se u granicama od $0.1\text{-}0.4 \text{ kgBPK}_5/\text{m}^3 \text{ na dan}$, pa se usvaja: $B_v = 0.25 \text{ kgBPK}_5/\text{m}^3 \text{ na dan}$
- obzirom da se u procesu predtretmana, na rešetkama, odstranjuje 10% od ukupnog opterećenja, dobija se potrebna zapremina bioaeracionog bazena:

$$V_{BB} (\text{m}^3) = \frac{0.9 \cdot Q_{sr}^d}{B_v} = \frac{0.9 \cdot 175}{0.25} = 630$$

Kako je već više puta navedeno u prethodnom tekstu, radi ispravnog funkcionisanja postrojenja, odnosno biološkog prečišćavanja, bioaeracioni bazen se mora "razbiti" na više manjih jedinica, kako bi se zadržala fleksibilnost u radu, odnosno kako bi se bez problema pratile različite količine otpadnih voda koje dotiču na postrojenje i kako bi se nesmetano primali, kako "udari", tako i minimalni doticaji. Iz tih razloga usvojeno je da se izvrši podela na dva bioaeraciona bazena sa naknadnim taložnicima, koji će, uz ostale objekte, garantovati zahtevani kvalitet finalnog efluenta.

Usvajaju se dva bioaeracionih bazena zapremina od po $V_B = 315 \text{ m}^3$

Definitivne zapremine, odnosno dimenzije bioaeracionih bazena biće usvojene nakon dimenzionisanja naknadnih taložnika, obzirom da su ovi objekti objedinjeni u "kombinovane objekte" u vidu mono blokova.

Opterećenje mase mulja za proces produžene aeracije kreće se u granicama od $0.05\text{-}0.15 \text{ kg BPK}_5/\text{kg SM na dan}$.

Usvaja se: $B_{SM} = 0.05 \text{ kg BPK}_5/\text{kg SM na dan}$, na osnovu čega proizilazi da koncentracija suve materije aktivnog mulja u bioaeracionom bazenu iznosi 5 kg/m^3 .

Okvirne granice za koncentraciju suve materije aktivnog mulja za produženu aeraciju iznose od $3\text{-}6 \text{ kg/m}^3$.

Za potrebe aerobnog tretmana otpadne vode i aerobne stabilizacije mulja postupkom produžene aeracije usvaja se specifična potrošnja kiseonika u visini od: $OC/B_v = 2.5 \text{ kg O}_2/\text{kg BPK}_5$, pa je ukupno potreban kiseonik od $18.23 \text{ kg O}_2/\text{h}$, odnosno po bazenima $2 \times 9.11 \text{ kg O}_2/\text{h}$.

Za svaki bioaeracioni bazen usvajaju se po jedan mamut rotor $\varnothing 1000 \text{ mm}$ dužine 3.0 m , sličan tipu KN 110, Passavant. Prilikom dimenzionisanja aeracije pomoću mamut rotora usvaja se da unos kiseonika iznosi $7.0 \text{ kg O}_2/\text{h}$ po dužnom metru mamut rotora pri uronu lopatica od 22 cm . Dužinom od 3 metara postizemo unos kiseonika od $21 \text{ kg O}_2/\text{h}$.

Prema dijagramu proizvođača i sračunatoj potrebnoj količini kiseonika za aeraciju od $10.0 \text{ kg O}_2/\text{h}$, za postavljene mamut rotore dubina urona lopatica iznosi oko 10 cm . Dubina urona lopatica se reguliše na regulacionom prelivu, odnosno regulacijom nivoa vode u bioaeracionom bazenu.

– **Naknadni taložnik**

Za separaciju biološkog mulja iz tretirane vode, nakon njenog izlaska iz bioaeracionog bazena, predviđa se gravitacioni postupak u naknadnom taložniku. Suština procesa sa aktivnim muljem je da se deo izdvojenog mulja iz naknadnog taložnika (povratni mulj) kontinuirano vraća u bioaeracioni bazen. Višak izdvojenog mulja iz naknadnog taložnika se mora ukloniti pre nego što se potpuno izgubi njegova aktivnost, odnosno pre uginuća aerobnih mikroorganizama na dnu sekundarnog taložnika usled nedostatka kiseonika.

Dimenzionisanje naknadnog taložnika u postupku produžene aeracije vrši se prema hidrauličkom opterećenju površine, koje se prosečno kreće u granicama od 8-16 m³/m² na dan, odnosno maksimalno u granicama od 24-32 m³/m² na dan, kao i opterećenju površine muljem koje se prosečno kreće u granicama od 1-5 kg/m²·h, odnosno maksimalno od 7 kg/m²·h.

Obračun za naknadni taložnik se vrši za prosečno dnevno opterećenje za 18 sati:

$$Q_{18} (\text{m}^3 / \text{h}) = Q_{\text{sr}}^{\text{d}} \cdot \frac{24}{18} = 26.04 \cdot \frac{24}{18} = 34.72$$

Kako se radi o dve jedinice, prosečno dnevno opterećenje Q_{18} po jedinici iznosi 2×17.36 m³/h.

Hidrauličko opterećenje bioaeracionog bazena otpadnom vodom za dve jedinice iznosi 2×17.36 m³/h. Koncentracija suve materije mulja u bioaeracionom bazenu iznosi 5 kg/m³.

Usvaja se maseno opterećenje površine naknadnog taložnika od 5 kg/m²·h, što odgovara hidrauličkom opterećenju od 1 m³/m²·h (24 m³/m² na dan). Tako je brzina "proticanja" kroz naknadni taložnik (prelivna brzina) 1.0 m/h, pa se dobija da je ukupna površina naknadnog taložnika 34.72 m², odnosno po 2×17.36 m².

Taloženje aktivnog mulja spada u takozvani difuzni zavisni, odnosno zonski (usporeni) tip taloženja, koje se definiše po teoriji G.J. Kynch-a. Ovo taloženje karakteriše značajno veća visina prelaznog sloja (zona taloženja), odnosno sloja u kome se vrši razdvajanje tečne i čvrste faze, nego u ostalim slučajevima taloženja.

Minimalna dubina vode u taložniku predstavlja zbir potrebnih minimalnih dubina za zonu zgušnjavanja, zonu razdvajanja faza i zonu čiste vode, odnosno:

$$h_{\text{min}} = h_1 + h_2 + h_3$$

gde su:

$h_1 = 0.5$ m (obzirom da je indeks mulja: $I_M = 100$ l/kg SM),

$h_2 = 2.5$ m,

$h_3 = 0.5$ m,

pa se dobija da je minimalna dubina u taložniku: $h_{\text{min}} = 3.5$ m.

Usvajaju se dva naknadna taložnika sledećih dimenzija:

— prečnik:	$D_{\text{NT}} = 4.7$ m
— dubina:	$h_{\text{NT}} = 3.5$ m
— površina:	$P_{\text{NT}} = 17.34$ m ²
— zapremina:	$V_{\text{NT}} = 60.7$ m ³

Vreme zadržavanja treba da je relativno kraće, usled sprečavanja anaerobnih procesa na aktivnom mulju. Uobičajene vrednosti za prosečni kapacitet Q_{18} se kreću od 2.7-4 časa.

Za prosečni kapacitet Q_{18} vreme zadržavanja iznosi $t=3.5$ časa, za maksimalni kapacitet Q_{max} , iznosi $t=2.4$ časa, a za srednje dnevni kapacitet Q_{sr}^d iznosi $t=4.6$ časa.

Prema usvojenim dimenzijama naknadnog taložnika, uz debljinu pregradnog zida od 30 cm, dobijaju se dimenzije "kombinovanog objekta" (bioaeracionog bazena i naknadnog taložnika u vidu mono bloka) kako sledi :

— prečnik naknadnog taložnika :	$D_{NT}=4.7$ m
— dubina vode u naknadnom taložniku:	$h_{NT} \cong 3.5$ m
— širina bioaeracionog bazena:	$B_{BB}=3.0$ m
— dubina vode u bioaeracionom bazenu* :	$h_{BB} \cong 4.0$ m

* Usvojena dubina bioaeracionog bazena od 4 m omogućava korišćenje i dubinske aeracije sa finim mehurićima (REFLEX - Roediger, BIOFLEX - Passavant, aeracioni paneli firme Hafi i drugi) umesto aeracije mamut rotorom.

— Crpna stanica za transport prečišćene vode do recipijenta

Iz naknadnih taložnika, prečišćena voda odlazi cevovodima do šahtova, mernog šahta i na kraju do crpne stanice koja prepumpava prečišćenu vodu do izlivne građevine odnosno do recipijenta. Usvaja se crpna stanica šahtnog tipa sa dve potopljene pumpe (jedna radna i jedna rezervna) kapaciteta po 14.5 l/s.

— Izlivna građevina

Prečišćena voda dalje se transportuje potisnim cevovodom PVC ND 150 za radni pritisak od 6 bara (spoljašnjeg prečnika $D=160$ mm, unutrašnjeg prečnika $d=150.6$ mm), potrebne dužine L, do izlivne građevine na recipijentu.

3.2.1.2. Linija mulja

— Crpna stanica za recirkulaciju mulja

Količina povratnog recirkulacionog mulja zavisi od tzv. recirkulacionog odnosa, tj. od odnosa sadržaja mulja u bioaeracionom bazenu ($SM=5$ kg SM/m³), koncentracije povratnog mulja koja se dobija prema indeksu mulja ($I_m=100$ l/kg) i koncentracije suve materije ($SM_{RM}=10$ kg SM/m³).

Tada recirkulacioni odnos iznosi:

$$RO_{RM} = \frac{SM}{SM_{RM} - SM} = \frac{5}{10 - 5} = 1$$

Dobija se da ukupna količina recirkulacionog mulja iznosi:

$$Q_{RM}=14.5 \text{ l/s.}$$

Usvaja se crpna stanica šahtnog tipa sa dve potopljene muljne pumpe (jedna radna i jedna rezervna) kapaciteta po 14.5 l/s.

Povratni mulj se potisnim cevovodom vraća u razdelni šaht odakle dalje odlazi ka bioaeracionim bazenima.

– Gravitacioni zgušnjivač mulja - silos za mulj

Tehnologijom produžene aeracije se vrši, pored biološke razgradnje rastvorenih organskih materija i aerobna stabilizacija mulja u bioaeracionom bazenu. Stoga se primarni mulj, koji dolazi sa otpadnom vodom, ne izdvaja pre bioaeracionih bazena.

Tako iz naknadnih taložnika izlazi kombinovani mulj, aerobno stabilizovani primarni mulj i aktivni mulj.

Višak mulja iz naknadnog taložnika se normira sa 0.2 kgSM/m³ na dan.

Procenjena količina viška mulja iznosi 166.7 kg na dan.

Koncentracija mulja u naknadnom taložniku u ovakvim postrojenjima se normira na 10 kgSM/m³, pa očekivana zapremina viška mulja iznosi 16.7 m³ na dan.

Radi smanjenja zapremine izdvojenog mulja i povećanja sadržaja suve materije koristi se silos za mulj. Specifično opterećenje silosa za mulj (koncentracija mulja) kreće se od 25- 60 kg SM/m² na dan u silosu za mulj.

Za usvojeno maseno opterećenje površine silosa $g_s=25$ kgSM/m² na dan, i očekivane količine viška mulja od $Q_M^d=166.7$ kg na dan dobija se potrebna površina zgušnjivača:

$$P_s (m^2) = \frac{Q_{max}^d}{g_s} = \frac{166.7}{25} = 6.8$$

Usvaja se površina silosa od $P_s=7$ m².

Usvaja se prečnik silosa za mulj za usvojenu površinu od $D=3$ m.

Planirano vreme zadržavanja mulja u silosu iznosi 2 dana.

Potrebna zapremina silosa za dvodnevno zadržavanje mulja iznosi: 35 m³.

Potrebna visina silosa iznosi: $H=5$ m.

– Polja za sušenje mulja

Stabilizovani mulj se iz silosa za mulj dovodi do polja za sušenje mulja. Specifična površina otvorenih polja po jednom ES uzima se od 0.08 m² do 0.2 m². Usvajanjem vrednosti 0.1 m² dobija se da je ukupna potrebna površina polja za sušenje mulja $P=250$ m².

Usvajaju se 4 polja, dimenzija:

- širina polja: $B=5.0$ m
- dužina polja: $L=12.5$ m.

Sa polja za sušenje mulj se odvozi na lokalnu deponiju ili se može koristiti u vidu visokovrednog đubriva.

3.2.2. Hidraulički proračun po liniji vode

Ukupne količine otpadnih voda za navedeno postrojenje će biti:

- $Q_{sr}^d = 2\,500 \cdot 250 \text{ l/st na dan} = 625 \text{ m}^3 \text{ na dan} = 7.23 \text{ l/s}$
- $Q_{max}^h = 1.95 \cdot 7.23 = 14.10 \text{ l/s}$
- Usvojen je maksimalni časovni kapacitet $Q_{max}^h = 14.50 \text{ l/s}$.

Hidraulički proračun je sproveden u relativnim kotama, uzimajući za "nultu" kotu (± 0.00) kotu na koju je potrebno prepumpati vodu na ulazu u postrojenje.

– Naknadni taložnik

Hidraulički proračun po liniji vode početak je od obodnog kanala naknadnog taložnika, tako da je sa $\nabla-K$ označena kota vode u obodnom kanalu naknadnog taložnika, što je i početna kota.

$$\begin{aligned} \nabla-NT & \text{ - kota u naknadnom taložniku} \\ \nabla-NT & = \nabla-K + \Delta h \end{aligned}$$

Mora se obezbediti nepotopljeno prelivanje, a za to je dovoljno da nivo donje vode bude niži od krune preliva.

Prema slici 5 hidraulički gubitak na naknadnom taložniku je: $\Delta h = 0.09 + h_p$

Maksimalno očekivana količina vode u obodnom kanalu je:

$$Q_{mer} (l/s) = \frac{Q_{max}^h + Q_{rec\ mulja}}{2} = \frac{14.50 + 7.25}{2} = 10.875 \approx 11$$

Prečnik naknadnog taložnika je $D_{NT} = 4.7 \text{ m}$. Dužina prelivne ivice se izračunava iz relacije:

$$B(m) = (D_{NT} - 0.5) \cdot \pi = 13.2$$

Maksimalno opterećenje prelivne ivice iznosi:

$$q_p (l/s \cdot m') = \frac{Q_p}{B} = \frac{10.875}{13.2} = 0.83$$

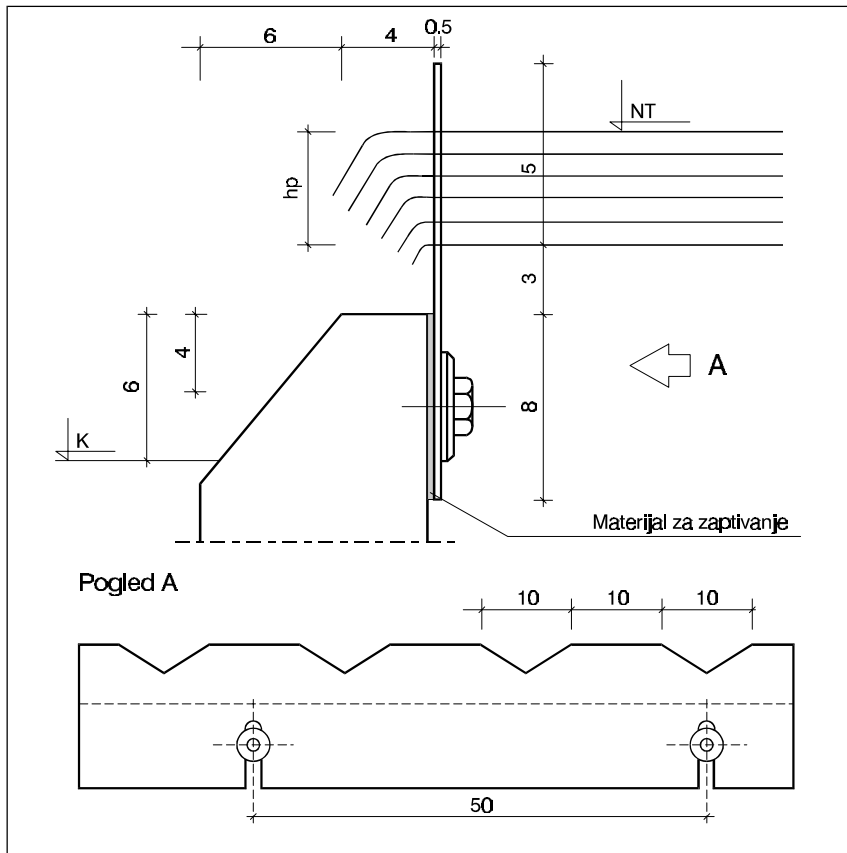
Na osnovu dobijenih vrednosti, prema dijagramu sa slike 2, dobija se visina prelivnog mlaza $h_p = 0.027 \text{ m}$ pa je:

$$\Delta h = 0.09 + 0.027 = 0.117 \text{ m}$$

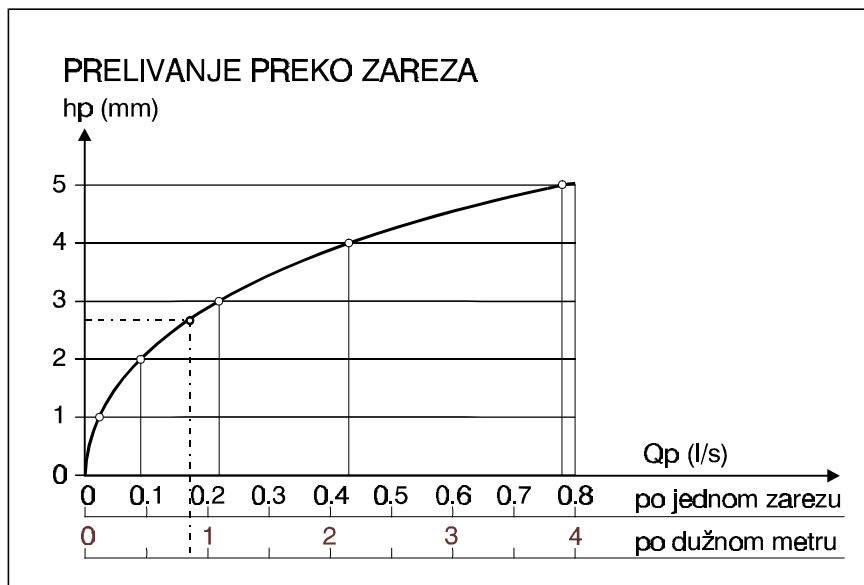
Usvaja se $\Delta h = 0.12 \text{ m}$, pa kota nivoa vode u naknadnom taložniku iznosi:

$$\nabla-NT = \nabla-K + 0.12 \text{ m}$$

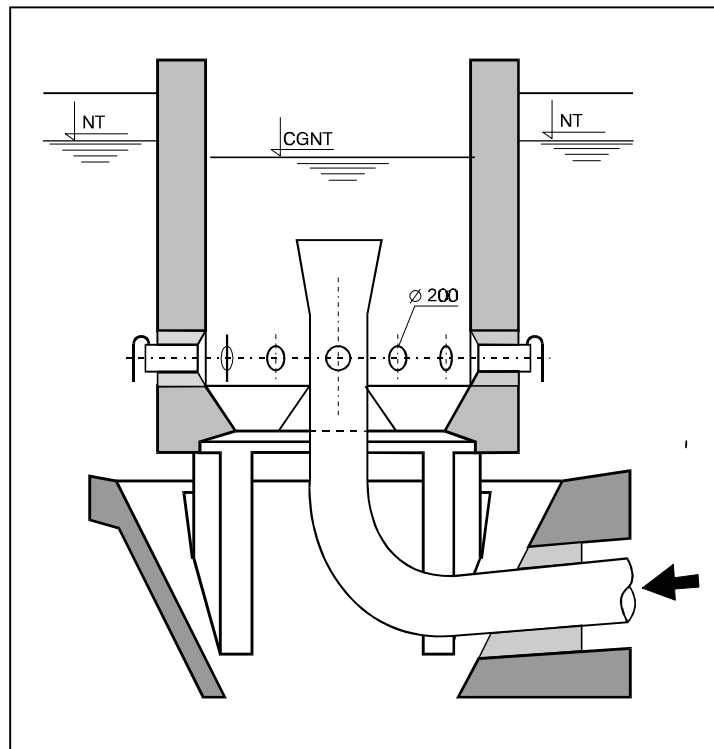
Slika 5 - Detalj - testerasti preliv



Slika 6 - Dijagram zavisnosti visine prelivanja od protoka



Slika 7 - Centralna građevina naknadnog taložnika



Proračun Štengelovih ulaznih elemenata

Tretirana otpadna voda iz bioaeracionog bazena, zajedno sa aktivnim muljem, evakuiše se se preko preliva po obodu bioaeracionog bazena, odakle se sifonskim cevovodom odvodi u centralnu građevinu u naknadnom taložniku.

Na centralnoj građevini naknadnog taložnika nalaze se po obodu postavljeni otvori za uvođenje tretirane otpadne vode i aktivnog mulja iz bioaeracionog bazena u naknadni taložnik.

Kota vode u centralnoj građevini naknadnog taložnika je \sphericalangle CGNT .

$$\sphericalangle$$
CGNT = \sphericalangle NT + Δh

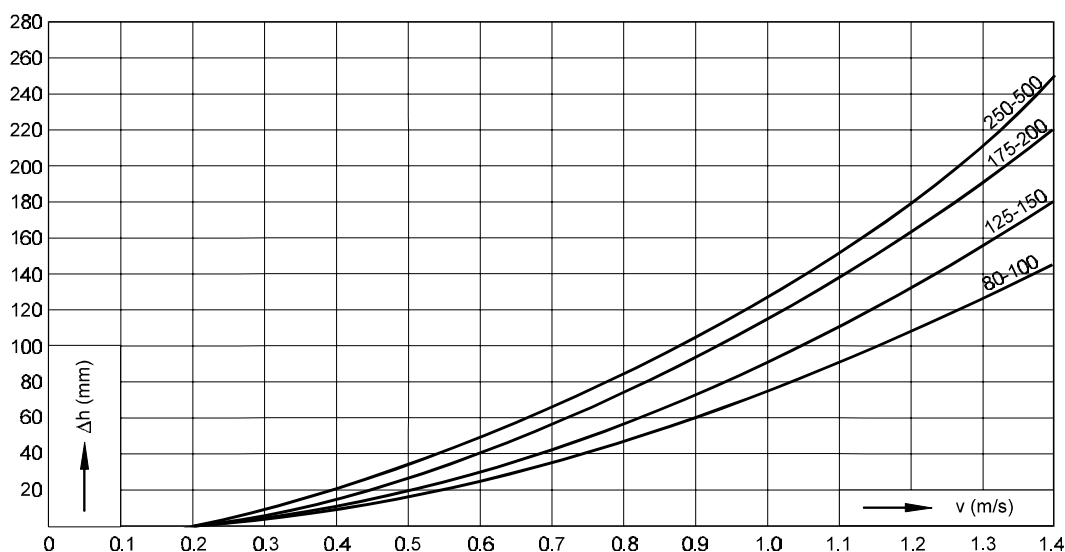
Usvaja se dimenzija otvora Štengelovog elementa od $\varnothing 200$ mm.

Usvaja se ukupno 8 simetrično postavljenih Štengelovih otvora, po 4 otvora po obodu centralne građevine svakog naknadnog taložnika (slika 7).

Prema dijagramu za izračunavanje hidrauličkih gubitaka od naknadnog taložnika do centralne građevine (slika 8), dobija se vrednost brzine isticanja vode kroz 8 otvora (4 otvora po jednom naknadnom taložniku) prečnika $\varnothing 200$ mm:

$$v(\text{m / s}) = \frac{Q_{\text{mer}}}{A_{\text{otv}}} = \frac{0.011}{4 \cdot 0.2^2 \cdot \pi / 4} = 0.084$$

Slika 8 - Dijagram zavisnosti hidrauličkih gubitaka od brzine kod Štengelovih prstenova



Dobijena brzina isticanja $v = 0.084$ m/s je manja od $v_{\text{doz}} = 0.8$ m/s.

Na osnovu dijagrama (slika 8) je $\Delta h = 0.00$ m.

Kota nivoa vode u centralnoj građevini naknadnog taložnika iznosi:

$$\begin{aligned} \nabla \text{CGNT} &= \nabla \text{NT} + 0.00 \text{ m} \\ \nabla \text{CGNT} &= \nabla \text{K} + 0.12 \text{ m} \end{aligned}$$

- Bioeracioni bazen

Maksimalno očekivana količina vode u sifonskom cevovodu od bioeracionog bazena do centralnog cilindra naknadnog taložnika (slika 9) je polovina početnog merodavnog proticaja $Q_{\text{mer}} = 0.011$ m³/s.

Usvaja se sifonski cevovod prečnika $D = 300$ mm i dužine $L = 8.00$ mm.

Gubitak pritiska u sifonskom vodu - Δh (m), izračunava se iz izraza:

$$\Delta h = \left(\xi_1 + 2 \cdot \xi_2 + \xi_3 + \lambda \cdot \frac{L}{D} \right) \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$\xi_1 = 0.5$ - koeficijent lokalnog gubitka na ulazu

$\xi_2 = 0.21$ - koeficijent lokalnog gubitka na kolenu 90°

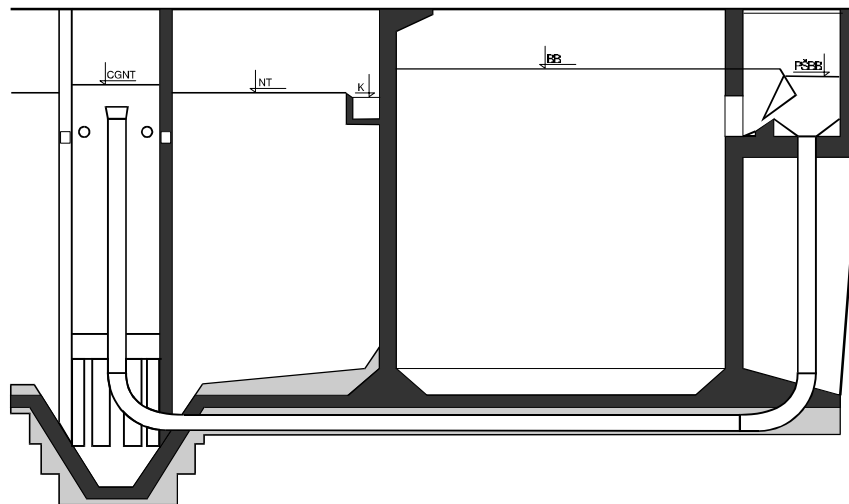
$\xi_3 = 0.5$ - koeficijent lokalnog gubitka na izlazu

$\lambda = 0.038$ - koeficijent linijskog otpora

$$\Delta h(\text{m}) = \left(0.50 + 2 \cdot 0.21 + 0.50 + 0.038 \cdot \frac{8.00}{0.30} \right) \cdot \frac{\left[\frac{0.011}{\frac{0.3^2 \cdot \pi}{4}} \right]^2}{2 \cdot 9.81} = 0.003 \approx 0.00$$

Usvaja se vrednost gubitka pritiska u sifonskom vodu od $\Delta h = 0.00$ m.

Slika 9 - Detalj - bioaeracioni bazen



Kota nivoa vode u prelivnom šahtu bioaeracionog bazena - ∇ PŠBB iznosi:

$$\begin{aligned}\nabla \text{PŠBB} &= \nabla \text{CGNT} + \Delta h = \nabla \text{CGNT} + 0.00 \text{ m} \\ \nabla \text{PŠBB} &= \nabla \text{K} + 0.12 \text{ m}\end{aligned}$$

Proračun visine prelivanja na podesivom prelivu u bioaeracionom bazenu

Maksimalno očekivana količina vode na ulazu u svaki biološki bazen je polovina početnog maksimalnog proticaja $Q_{\text{mer}} = 0.011 \text{ m}^3/\text{s}$.

Usvaja se dužina podesivog preлива od $b = 1.00 \text{ m}$.

Za koeficijent proticaja $\mu = 0.46$, potrebna visina prelivanja iz bioaeracionog bazena iznosi:

$$H(\text{m}) = \left(\frac{Q_{\text{mer}}}{C_p \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{2/3} = \left(\frac{0.011}{0.46 \cdot 1 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81}} \right)^{2/3} = 0.032 \approx 0.03$$

Kota nivoa vode u bioaeracionom bazenu iznosi:

$$\nabla \text{BB} = \nabla \text{PŠBB} + \Delta h$$

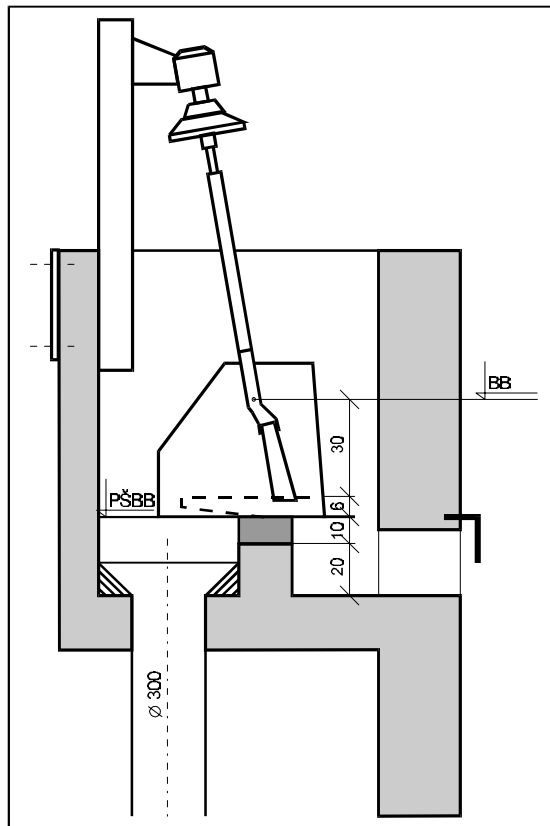
Sada je hidraulički gubitak na prelivu:

$$\Delta h = 0.06 \text{ m} + 0.30 \text{ m} + h_p = 0.06 \text{ m} + 0.30 \text{ m} + 0.0306 \text{ m} = 0.3906 \text{ m}$$

Kota nivoa vode u bioaeracionom bazenu iznosi:

$$\begin{aligned}\nabla \text{BB} &= \nabla \text{PŠBB} + 0.39 \text{ m} \\ \nabla \text{BB} &= \nabla \text{K} + 0.51 \text{ m}\end{aligned}$$

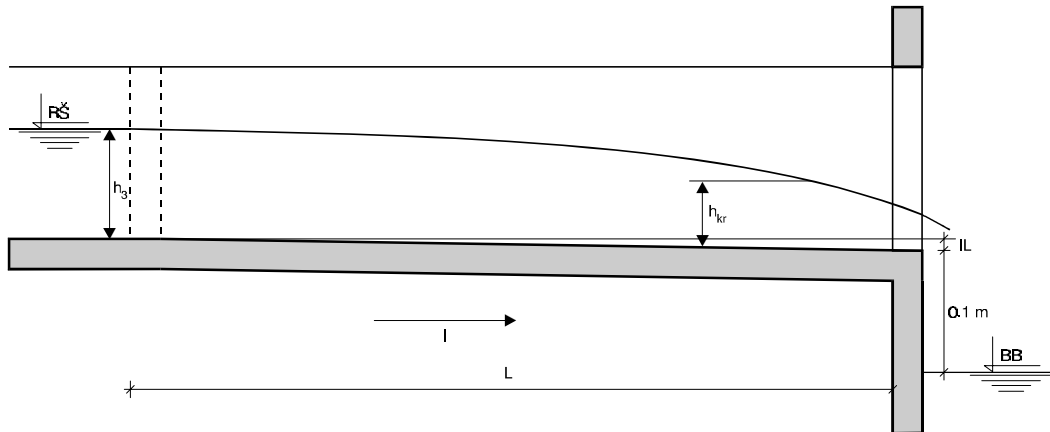
Slika 10 - Regulacioni preliv



 – Proračun kanala od razdelne šahte do bioaeracionog bazena

Kota nivoa vode u razdelnom šahtu je ∇ RŠ .

Slika 11 - Kanal od razdelne šahte do bioaeracionog bazena



Prema slici 11, vidi se da je kota u razdelnom šahtu:

$$\nabla \text{RŠ} = \nabla \text{BB} + \Delta h$$

Ukupni hidraulički gubitak u kanalu - Δh , iznosi:

$$\Delta h = 0.10 \text{ m} + \Delta h_L + h_3$$

Za usvojeni pad kanala od $i = 3\text{‰}$, kao i dužinu kanala $L = 15 \text{ m}$, dobijamo linijske gubitke duž kanala:

$$\Delta h_L = i \cdot L = 0.003 \cdot 15 = 0.045 \approx 0.5 \text{ m}$$

Kritična dubina vode, sa kojom voda iz kanala izlazi u bioaeracioni bazen, proračunava se iz izraza:

$$h_{kr} \text{ (m)} = \sqrt[3]{\frac{Q_{max}^h{}^2}{g \cdot b^2}} = \sqrt[3]{\frac{0.0145^2}{g \cdot 0.4^2}} = 0.05$$

Dubina vode iza mernog kanala iznosi: $h_3 = 0.12 \text{ m}$ (iz hidrauličkog proračuna mernog objekta datog u nastavku). Tako je ukupni hidraulički gubitak u kanalu:

$$\Delta h = 0.10 + 0.05 + 0.12 = 0.27 \text{ m}$$

Kota nivoa vode u razdelnom šahtu iznosi:

$$\nabla \text{RŠ} = \nabla \text{BB} + 0.27 \text{ m}$$

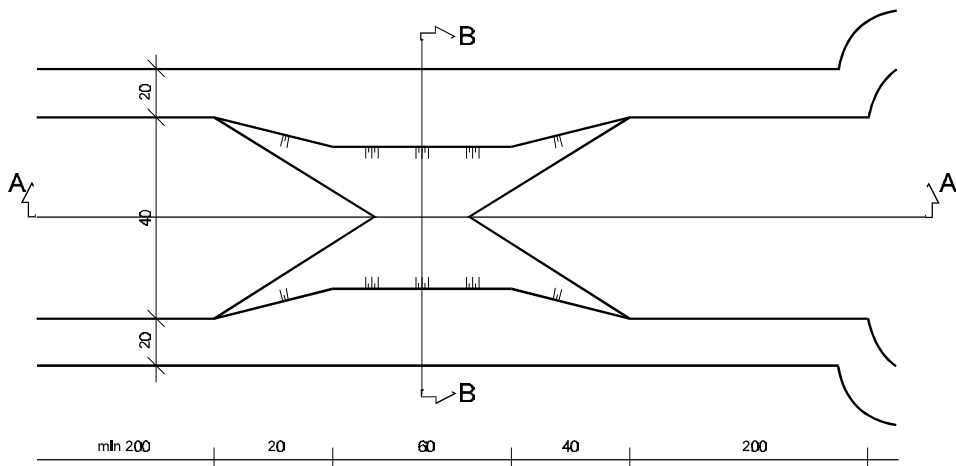
$$\nabla \text{RŠ} = \nabla \text{K} + 0.78 \text{ m}$$

– Proračun gubitka visine na mernom kanalu

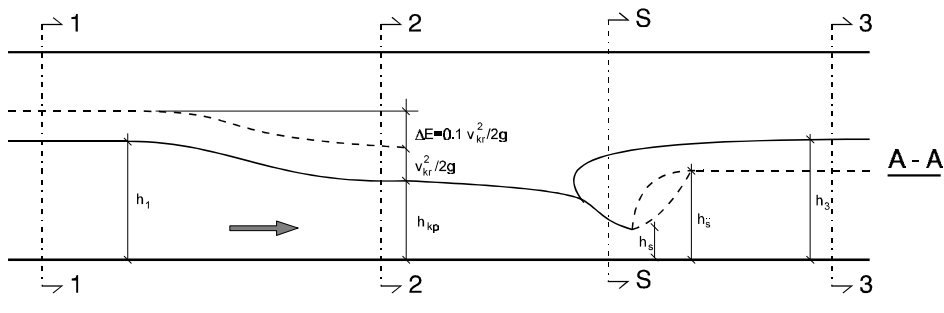
Kota nivoa vode na ulazu u merni kanal je ∇ MK .

$$\nabla \text{ MK} = \nabla \text{ RŠ} + \Delta h$$

Slika 12 - Merni kanal - osnova i podužni presek



PRESEK A - A

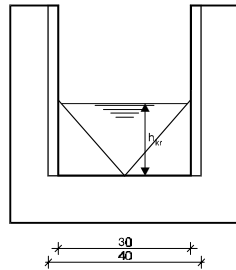


NAPOMENA: Proračun je sproveden za merni kanal kod koga se merenje protoka vrši merenjem dve dubine: h_1 i h_{kr} . U realnim uslovima merenjem ove dve dubine na mernom kanalu dobija se rezultat koji ne zavisi od toga da li je u suženju ostvarena kritična dubina h_{kr} , ili ne. Praksa je pokazala da je postizanje kritične dubine u suženju neizvesno i zavisi od mnogo faktora (način izvođenja, ekstremi protoka, ...).

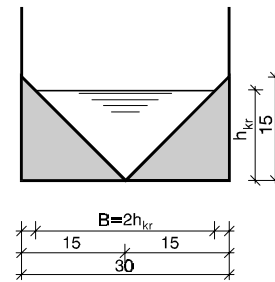
Ukoliko se ipak želi ostvariti jednoznačna veza između dubine i protok, merenjem samo dubine u suženju, za primer kako se vrši dimenzionisanje, pogledati u Literaturi naznačenu publikaciju pod rednim brojem 44.

Slika 13 - Poprečni presek

PRESEK B - B



Slika 14 - Dimenzije preseka

**Gubitak visine na meraču protoka**

Maksimalno očekivana količina vode u kanalu merača protoka je $Q_{\max}^h = 0.0145 \text{ m}^3/\text{s}$.

Usvojen je merni kanal širine $b = 300 \text{ mm}$.

Za određivanje kritične dubine u kanalu merača protoka koristi se Frudov broj:

$$F_R = 1 = \frac{Q_{\max}^h \cdot B}{g \cdot A_{kr}^3}$$

$B = 2 \cdot h_{kr}$ - širina vodenog ogledala

Poprečni presek za kritičnu dubinu iznosi:

$$A_{kr} = h_{kr}^2$$

$$F_R = 1 = \frac{0.0145^2 \cdot 2 \cdot h_{kr}}{g \cdot (h_{kr}^2)^3} \Rightarrow h_{kr} \text{ (m)} = \sqrt[3]{\frac{0.0145^2 \cdot 2}{g}} = 0.134$$

$$\Rightarrow A_{kr} \text{ (m}^2\text{)} = 0.134^2 = 0.0179$$

Kritična brzina proticaja iznosi:

$$v_{kr} \text{ (m / s)} = \frac{Q_{\max}^h}{A_{kr}} = \frac{0.0145}{0.0179} = 0.81$$

Bernulijeva jednačina za preseke 1-1 i 2-2 iznosi:

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = h_{kr} + \frac{v_{kr}^2}{2 \cdot g} + 0.1 \cdot \frac{v_{kr}^2}{2 \cdot g}$$

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = 0.134 + 1.1 \cdot \frac{0.81^2}{2 \cdot g} = 0.17 \text{ m}$$

$$h_1 = 0.17 - \frac{v_1^2}{2 \cdot g}$$

$$h_1 \cdot b_1 \cdot v_1 = Q_{\max}^h$$

$$b_1(m) = 0.4$$

$$h_1 \cdot v_1 = \frac{Q_{\max}^h}{b_1} = \frac{0.0145}{0.40} = 0.03625$$

$$0.17 \cdot v_1 - \frac{v_1^3}{2 \cdot g} - 0.03625 = 0$$

$$v_1 = 0.22 \text{ m / s}$$

Iz prethodnih relacija se dobija da dubina kanala u preseku 1-1, h_1 iznosi:

$$h_1 = 0.17 \text{ m}$$

Bernulijeva jednačina za preseke 2-2 i S-S iznosi:

$$h_{kr} + \frac{v_{kr}^2}{2 \cdot g} = h_s + \frac{v_s^2}{2 \cdot g} + 0.15 \cdot \frac{v_s^2}{2 \cdot g}$$

$$h_s + 1.15 \cdot \frac{v_s^2}{2 \cdot g} = h_{kr} + \frac{v_{kr}^2}{2 \cdot g} = 0.17 \text{ m}$$

$$h_s = 0.17 - 1.15 \cdot \frac{v_s^2}{2 \cdot g}$$

$$v_{kr} \cdot A_{kr} = b_3 \cdot h_s \cdot v_s$$

$$h_s \cdot v_s = \frac{v_{kr} \cdot A_{kr}}{b_3} = \frac{0.81 \cdot 0.0179}{0.40} = 0.03636$$

$$0.17 \cdot v_s - 1.15 \cdot \frac{v_s^3}{2 \cdot g} - 0.03636 = 0$$

$$v_s = 1.59 \text{ m / s}$$

Iz prethodnih relacija se dobija da dubina kanala - h_s u preseku S-S iznosi:

$$h_s = 0.02 \text{ m} < h_{kr} = 0.134 \text{ m}$$

Kritična dubina u preseku 3-3 iznosi:

$$h_{kr_3}(m) = \sqrt[3]{\frac{Q_{\max}^h}{g \cdot b_3^2}} = \sqrt[3]{\frac{0.0145^2}{g \cdot 0.40^2}} = 0.05$$

Konjugovana spregnuta dubina hidrauličkog skoka - h_s'' u preseku S-S iznosi:

$$h_s'' = \frac{h_s}{2} \cdot \left[\sqrt{1 + 8 \cdot \frac{Q_{\max}^h}{g \cdot b_3^2 \cdot h_s^3}} - 1 \right] = \frac{0.02}{2} \cdot \left[\sqrt{1 + 8 \cdot \frac{0.0145^2}{g \cdot 0.40^2 \cdot 0.02^3}} - 1 \right] = 0.106$$

Konjugovana spregnuta dubina mora biti veća od kritične dubine : $h_s'' > h_{kr_3}$

Uslov koji osigurava potopljenost hidrauličkog skoka je da dubina u preseku 3-3 iznosi:

$$h_3 \geq 1.1h_s'' = 0.117 \approx 0.12 \text{ m}$$

Razlika nivoa - Δh u presecima 1-1 i 3-3 iznosi:

$$\Delta h = 0.17 - 0.12 = 0.05 \text{ m}$$

Kota nivoa vode u mernom kanalu iznosi:

$$\begin{aligned} \nabla \text{MK} &= \nabla \text{RŠ} + \Delta h \\ \nabla \text{MK} &= \nabla \text{RŠ} + 0.05 \text{ m} \\ \nabla \text{MK} &= \nabla \text{K} + 0.83 \text{ m} \end{aligned}$$

– **Aerisani peskolov**

Maksimalno hidrauličko opterećenje peskolova biće $Q_{\max}^h = 0.0145 \text{ m}^3/\text{s}$. Kota nivoa vode na ulazu u peskolov je:

$$\nabla \text{PESK} = \nabla \text{MK} + \Delta h$$

Bernulijeva jednačina za peskolov za presek 1-1 glasi:

$$h + \frac{v^2}{2 \cdot g} = h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + 2.5 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

v - ulazna brzina u peskolov

$$h - 1.5 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = 0.17$$

$$v \cdot h \cdot b = Q_{\max}^h$$

$$v \cdot h = \frac{0.0145}{0.4} = 0.03625$$

$$v \cdot h = 0.17 \cdot v + 1.5 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0.03625$$

Iz navedenih relacija se dobija ulazna brzina u peskolov: $v=0.21\text{m/s}$

Dubina vode u peskolovu iznosi:

$$h=0.17\text{m}$$

Razlika nivoa vode u peskolovu i preseku 1-1 iznosi:

$$\Delta h = h - h_1 = 0.17 - 0.17 = 0.00 \text{ m}$$

Kota nivoa vode u peskolovu iznosi:

$$\begin{aligned} \nabla \text{PESK} &= \nabla \text{MK} + 0.00 \text{ m} \\ \nabla \text{PESK} &= \nabla \text{K} + 0.83 \text{ m} \end{aligned}$$

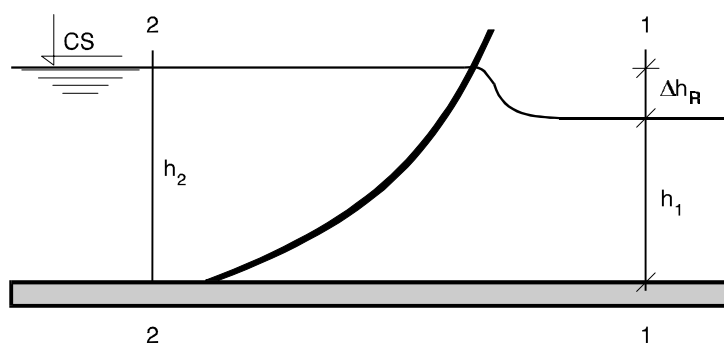
– **automatska lučna rešetka**

Kota nivoa vode u kanalu iza crpne stanice je jednaka koti peskolova - ∇ -PESK, uvećanoj za hidraulički gubitak na automatskoj rešetki - $\Delta h = \Delta h_R$.

$$\nabla\text{-CS} = \nabla\text{-PESK} + \Delta h$$

$\Delta h = \Delta h_R$ -gubitak na automatskoj rešetki.

Slika 15 - Šema automatske rešetke u preseku



Bernulijeva jednačina za dva preseka, presek 1-1 i presek 2-2, glasi:

$$h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + \Delta h$$

$$\Delta h = h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} - h_1 - \frac{v_1^2}{2 \cdot g} \quad 1.$$

Jednačina kontinuiteta za presek kroz rešetku glasi:

$$v_2 \cdot A_2 = Q_{\max}^h$$

$$v_2 \cdot h_2 \cdot n \cdot b \cdot K_R = Q_{\max}^h \quad 2.$$

n- broj otvora

b- širina otvora (razmak između šipki)

K_R - koeficijent kontrakcije

Broj otvora na rešetki zavisi od širine kanala - $B=0.40$ m, razmaka između šipki - $b=0.02$ m i debljine šipke rešetke - $\delta=0.01$ m.

Za usvojene vrednosti broj šipki iznosi:

$$n = \frac{B}{\delta + b} = \frac{0.40}{0.01 + 0.02} = 13$$

Pri određivanju hidrauličkog gubitka na rešetki polazi se od maksimalnog proticaja kroz rešetku.

$$Q_{\max}^h = v_2 \cdot h_2 \cdot n \cdot b \cdot K_R$$

$K_R=0.82$ - koeficijent kontrakcije

$$v_2 \cdot h_2 = \frac{0.0145}{13 \cdot 0.02 \cdot 0.82} = 0.068$$

$$v_2 \cdot h_2 = (A)$$

Jednačina za hidraulički gubitak na rešetki iznosi:

$$\Delta h = \xi_R \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \quad 3.$$

$$\xi_R = \beta \cdot (\delta / b)^{4/3} \cdot K \cdot \sin \theta$$

β - koeficijent zavisan od oblika poprečnog preseka šipki rešetke (2.42 i prav ugao)

δ - debljina šipke

b - razmak između šipki

K - koeficijent začepljenja rešetke ($K=3$)

θ - ugao nagiba rešetke prema horizontali ($60-90^\circ$)

Iz jednačina (1), (2) i (3) dobijaju se: brzina proticaja - v_2 , visina sloja - h_2 iza lučne rešetke, kao i hidraulički gubitak na lučnoj rešetki - Δh .

1) Transformisana jednačina (1)

$$\Delta h = h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} - h_1 - \frac{v_1^2}{2 \cdot g}$$

$h_1=h_N=0.17$ m - normalna dubina kanala

$$v_1 \text{ (m / s)} = \frac{Q_{\max}^h}{A_1} = \frac{0.0145}{0.40 \cdot 0.17} = 0.21$$

$$\Delta h = h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} - 0.17 - \frac{0.21^2}{2 \cdot g}$$

$$(B) = 0.17 + \frac{0.21^2}{2 \cdot g} = 0.1723$$

$$\Delta h = h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} - (B) \quad 1'$$

2) Transformisana jednačina (2)

$$v_2 \cdot h_2 = (A) \quad 2'$$

3) Transformisana jednačina (3)

$$\Delta h = \xi_R \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g}$$

$$\xi_R = \beta \cdot (\delta / b)^{4/3} \cdot 3 \cdot \sin(90) = 2.42 \cdot (0.01 / 0.02)^{4/3} \cdot 3 \cdot 1 = (C) = 2.881$$

$$\Delta h = (C) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \quad 3'$$

Zamenom jednačina (3') u (1') dobijaju se relacije:

$$(C) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = h + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = h_2 - (B)$$

$$[(C) - 1] \cdot \frac{v_2^2}{2g} = h_2 - (B)$$

Zamenom vrednosti h_2 iz jednačine (2') u gornjoj relaciji dobijaju se tražene vrednosti v_2 , h_2 i Δh .

$$h_2 = \frac{(A)}{v_2}$$

$$(C_1) = (C) - 1 = 2.881 - 1 = 1.881$$

$$(C_1) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = \frac{(A)}{v_2} - (B)$$

$$(C_1) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} - \frac{(A)}{v_2} + (B) = 0$$

Zamenom poznatih vrednosti za (C_1) , (A) i (B) u navedenom izrazu dobija se:

$$v_2 = 0.37 \text{ m/s}$$

Zamenom dobijene vrednosti za v_2 u jednačini (2') dobija se:

$$h_2 = 0.18 \text{ m}$$

Na kraju, zamenom svih vrednosti u izrazu (1'), ili (3'), dobija se traženi hidraulički gubitak na lučnoj rešetki:

$$\Delta h = 0.02 \text{ m}$$

Kota nivoa vode u kanalu iza crpne stanice iznosi:

$$\nabla \text{CS} = \nabla \text{PESK} + \Delta h = \nabla \text{PESK} + 0.02 \text{ m}$$

$$\nabla \text{CS} = \nabla \text{R} + 0.85 \text{ m}$$

– **Raspodela kota na liniji vode**

Kada se za relativnu kotu ± 0.00 usvoji kota na koju je potrebno prepumpati vodu na ulazu u postrojenju, tada se dobija sledeća raspodela kota objekata i postrojenja:

referentna kota (kanal iza crpne stanice):	$\nabla\text{CS} = (+0.85)$	$\Rightarrow \pm 0.00 \text{ m}$
kota peskolova:	$\nabla\text{PESK} = (+0.83)$	$\Rightarrow - 0.02 \text{ m}$
kota mernog kanala:	$\nabla\text{MK} = (+0.83)$	$\Rightarrow - 0.02 \text{ m}$
kota razdelnog šahta:	$\nabla\text{RŠ} = (+0.78)$	$\Rightarrow - 0.07 \text{ m}$
kota bioloških bazena:	$\nabla\text{BB} = (+0.51)$	$\Rightarrow - 0.34 \text{ m}$
kota prelivnog šahta bioloških bazena:	$\nabla\text{PŠBB} = (+0.12)$	$\Rightarrow - 0.73 \text{ m}$
kota centralne građevine naknadnog taložnika:	$\nabla\text{CGNT} = (+0.12)$	$\Rightarrow - 0.73 \text{ m}$
kota naknadnih taložnika:	$\nabla\text{NT} = (+0.12)$	$\Rightarrow - 0.73 \text{ m}$
kota obodnog kanala naknadnog taložnika:	$\nabla\text{K} = (\pm 0.00)$	$\Rightarrow - 0.85 \text{ m}$

3.2.3. Hidraulički proračun po liniji mulja

Prema hidrauličkom proračunu po liniji vode je dobijeno da je kota u centralnoj građevini naknadnog taložnika:

$$\nabla\text{CGNT} = - 0.73 \text{ m}$$

Kota u muljnoj crpnoj stanici iznosi:

$$\nabla\text{MCS} = \nabla\text{CGNT} - \Delta h$$

Mulj gravitaciono dolazi u muljnu crpnu stanicu cevovodom $\varnothing 300$ pa se dobije veoma mali, odnosno zanemarljiv hidraulički gubitak ($\Delta h \cong 0$) pa je na osnovu toga:

$$\nabla\text{MCS} = \nabla\text{CGNT} = - 0.73 \text{ m}$$

Kota u silosu za mulj (maksimalna kota cevovoda kojim muljna pumpa potiskuje mulj u silos) iznosi:

$$\nabla\text{SM} = 2.15 \text{ m}$$

Kota u poljima za sušenje mulja iznosi:

$$\nabla\text{PSM} = - 0.93 \text{ m}$$

3.3. POSTROJENJE KAPACITETA OD 5 000 ES

– Hidrauličko opterećenje postrojenja

Hidrauličko opterećenje postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, za kapacitet od 5 000 ES, preračunava se iz sledećih relacija:

- broj ekvivalentnih stanovnika: $N_{ES} = 5\ 000\text{ES}$
- norma otpadnih voda: $q_{ES} = 250\ \text{l/ES na dan}$
- srednje dnevno hidrauličko opterećenje se preračunava iz relacije:

$$Q_{sr}^d = N_{ES} \cdot q_{ES} = 5000 \cdot 0.25 = 1250\ \text{m}^3\ \text{na dan} = 52.08\ \text{m}^3 / \text{h} = 14.47\ \text{l/s}$$

- usvaja se koeficijent neravnomernosti: $K_{op} = 2.00$
- maksimalno časovno hidrauličko opterećenje se određuje iz relacije:

$$Q_{max}^h = Q_{sr}^d \cdot K_{op} = 1250 \cdot 2.00 = 2500.0\ \text{m}^3\ \text{na dan} = 104.17\ \text{m}^3 / \text{h} = 28.94\ \text{l/s}$$

Usvaja se maksimalno hidrauličko opterećenje od: $Q_{max}^h = 29.0\ \text{l/s}$

– Biološko opterećenje postrojenja

Biološko opterećenje postrojenja za prečišćavanje upotrebljenih voda, za kapacitet od 2 500 ES, izračunava se na osnovu specifičnog biološkog opterećenja izraženog preko biološke potrošnje kiseonika (BPK_5) po ekvivalentnom stanovniku na dan:

$$b_{spec} = 70\ \text{g O}_2(BPK_5)\ \text{po ES na dan}$$

Na taj način, izračunava se biološko opterećenje postrojenja iz relacije:

$$B(\text{kg}BPK_5\ \text{na dan}) = N_{ES} \cdot b_{spec} = 5000 \cdot 0.07 = 350$$

– Osnovni parametri i šema postupka

Osnovni parametar prilikom izbora tehnološke šeme prečišćavanja otpadnih voda je zahtevani kvalitet finalnog efluenta pre upuštanja u recipijent. Uobičajeno se prečišćene otpadne vode iz gradskih postrojenja smeju ispuštati u recipijent pod sledećim parametrima kvaliteta:

- $C_{BPK_5} = 25\ \text{mgO}_2/\text{l}$ (bez nitrifikacije), uz minimalan stepen redukcije 70% -90%
- $C_{HPK} = 125\ \text{mgO}_2/\text{l}$, uz minimalan stepen redukcije 75%
- $C_{susp. materije} = 35\ \text{mg/l}$, uz minimalan stepen redukcije 90%

Za postrojenje za prečišćavanje upotrebljenih voda veličine 5 000 ES, koje inače spada u manje uređaje, najprikladniji način prerade je tzv. "extended aeration" (produžena aeracija) sa istovremenom stabilizacijom mulja.

Ovakav koncept prečišćavanja otpadnih voda se pokazao kao veoma pogodan u praksi iz razloga što je u mogućnosti da prati "udare" opterećenja bez dogradnje novih objekata i ugradnje nove opreme. Takođe je veoma fleksibilan u pogledu proširenja kapaciteta uređaja, u koliko se prilikom eksploatacije ukaže potreba, odnosno u koliko planirani kapacitet nije u stanju da podmiri novonastale potrebe.

Navedeni proces prečišćavanja se sastoji od mehaničko-biološkog procesa pri čemu se u mehaničkom delu posle primarnog dizanja otpadnih voda, iz istih na automatskoj rešetki otklanjaju preostali čvrsti otpatci određenog prečnika (većeg od svetlog otvora rešetke), a zatim u peskolovu vrši istaložavanje peska i ostalih lakotaložljivih supstanci (inertno taloženje).

U biološkom delu postrojenja se vrši razgradnja rastvorenih organskih materija metodom sa aktivnim muljem, u vremenu i količini kiseonika potrebnoj za aerobnu stabilizaciju izreagovalog aktivnog mulja.

Istaloženi mulj se zgrće na dnu naknadnog taložnika i odatle cevovodom transportuje do šahta gde se nalaze potopljene muljne pumpe pomoću kojih se vrši recirkulacija aktivnog mulja i prebacivanje viška mulja na dalji tretman u silos za mulj, gde se vrši gravitaciono ugušćivanje mulja. Kada se u toku rada postrojenja konstatuje višak aktivnog mulja, tada se manipulacijom ventilima taj mulj evakuiše u objekat za zgušnjavanje mulja, gde odležava jedan određeni period. Pri tome se nadmuljna voda vraća nazad u proces, a ugušćeni mulj gravitaciono ispušta u polja za sušenje mulja. Nakon dehidratacije, mulj je inertan, sakuplja se i odnosi na deponiju ili koristi kao proizvodno visokovredno đubrivo.

Tehnološka šema uređaja predviđena je po sledećim celinama:

- ulazna pužna crpna stanica,
- automatska rešetka,
- peskolov,
- merni objekat,
- aeracija sa istovremenom aerobnom stabilizacijom mulja,
- naknadni taložnik,
- recirkulacija mulja,
- zgušnjavanje mulja,
- dehidratacija mulja.

Posmatrano prema liniji vode, odnosno prema liniji mulja, može se izvršiti podela objekata kako sledi i to:

Linija vode:

- ulazna crpna stanica,
- automatska rešetka,
- peskolov,
- venturijev merni kanal,
- bioaeracioni bazen,
- naknadni taložnik;

Linija mulja:

- crpna stanica za recirkulaciju mulja,
- zgušnjivač mulja,
- polja za sušenje mulja;

Ostali objekti:

- upravno-pogonska zgrada,
- objekti neposredne sanitarne zaštite (žičana ograda i tabla upozorenja),
- zelene površine u krugu objekta.

Na ovom mestu potrebno je naglasiti da je deo postrojenja za biološki tretman i taloženje aktivnog mulja izveden u vidu kombinovanog objekta - mono bloka, pa iz tih razloga zauzima značajno manje prostora u odnosu na nekompaktno projektovane sisteme, tj. sisteme kod kojih su bioaeracioni bazen i naknadni taložnik predviđeni kao razdvojene, konstruktivno nezavisne celine.

3.3.1. Dimenzionisanje objekata

Prilikom izbora opreme postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, kao jedan od osnovnih polaznih kriterijuma je taj da se kompletna oprema za sve objekte odabere u okvirima domaće proizvodnje. Analizom ponuđenih proizvodnih programa domaćih proizvođača, a u cilju obezbeđenja sigurnog pogona sa mogućnošću ispunjenja svih postavljenih uslova za kvalitetom finalnog efluenta, predlaže se izbor hidromašinske opreme prema specijalizovanim proizvodnim programima proizvođača "MIN", "Jastrebac" iz Niša, "Eko-vodo inženjering" iz Beograda i "Sever" iz Subotice, a sva izabrana oprema je saglasna sa standardima evropskih proizvođača (Passavant-Werke).

3.3.1.1. Linija vode

– Pužna crpna stanica

Na kraju gradske fekalne kanalizacione mreže, posle poslednjeg šahta, na ulazu u postrojenje, neophodno je izgraditi pumpnu stanicu kojom će se sakupljene otpadne vode izdići na potreban nivo, tako da dalje voda gravitaciono teče kroz objekte postrojenja.

Kao oprema crpnih stanica, predlaže se ugradnja pužnih pumpnih agregata obzirom na njihovu veoma malu, zapravo beznačajnu osetljivost na primese koje sobom nose fekalne otpadne vode. Takođe, pužne pumpe rade efikasno i sa znatno smanjenim dotokom od nominalnog tako da im praktično ne smeta ni rad "na prazno". Kontinuirani rad pužnih pumpi sprečava taloženje, a time i truljenje mulja u kanalskoj vodi, čime se sprečava širenje neugodnih mirisa iz ovakvih objekata. Osim toga, siguran i dugotrajan rad pužnih pumpi obezbeđen je relativno malim brojem obrtaja, kao i robusnom konstrukcijom celog agregata.

Sabirno okno se kod pužnih pumpi gradi relativno plitko, odmah ispod dna dovodnog kanalizacionog kolektora, čime su smanjeni troškovi i teškoće zbog dubljeg ukopavanja crpnog bazena, koji je potreban kod ostalih tipova pumpi. Takođe, korito pužnih pumpi postepenim usponom izlazi iz velikih dubina, tako da pri građenju nema znatnijih problema nego pri građenju dovodnog kolektora.

Pužna crpna stanica se dimenzioniše na određeno maksimalno opterećenje 29 l/s. Usvajaju se pužne pumpe kapaciteta po 30 l/s (jedna radna i jedna rezervna).

– Automatska rešetka

Kao prvi objekat predtretmana, prema prethodno usvojenoj i obrazloženoj tehnološkoj šemi, predviđena je automatska rešetka. U današnje vreme, izražena je tendencija izgradnje postrojenja za prečišćavanje upotrebljenih voda sa što višim efektom predtretmana. Naime, čest je slučaj u praksi, da se realizuju samo mehanički delovi sistema za prečišćavanje, tako da je potrebno postići što efikasniji predtretman radi zaštite recipijenta, a i sa povećanjem stepena mehaničkog predtretmana dolazi do sniženja organskog opterećenja biološkog stepena obrade, što dovodi, kako do smanjenja gabarita tih objekata, tako i do snižavanja energetske troškova. U slučaju kada dođe do začepljenja rešetke ili zastoja u radu, tada otpadna voda teče zaobilaznim kanalom, "bypass" - om, preko ravne rešetke sa ručnim čišćenjem.

Sakupljeni otpad se sa automatske rešetke odbacuje u betonsko korito, odakle se dalje odlaže u kontejnere. Otpad se iz kontejnera odnosi na deponiju gradskog smeća.

Automatska rešetka se dimenzioniše na maksimalno opterećenje koje iznosi 29 l/s.

Predlaže se usvajanje lučne rešetke koja se radi po ugledu na rešetku "Unioninvest", po licenci "Passavant Werke" i ugradjuje u kanal pravougaonog poprečnog preseka sledećih karakteristika:

- širina kanala: $B = 40 \text{ cm}$
- ukupna visina kanala: $H = 80 \text{ cm}$

Karakteristike "bypass" kanala su sledeće:

- širina "bypass" kanala: $B = 40 \text{ cm}$
- ukupna visina "bypass" kanala: $H = 80 \text{ cm}$.

– **Peskolov**

Za izdvajanje težih, uglavnom mineralnih sastojaka kao što je pesak, iz otpadnih voda naselja, u okviru predložene tehnologije prečišćavanja predviđena je izgradnja taložnika za pesak, tzv. peskolova koji se u principu locira na svim postrojenjima. Peskolov funkcioniše na principu smirivanja toka vode, ali samo toliko da se omogući taloženje specifično težih čestica peska. Da bi se održala stalna brzina vode u peskolovu, treba predvideti ugradnju mešalice koja se okreće konstantnom brzinom i održava stalnu brzinu vode, čime je sprečeno taloženje organskih materija.

Istaloženi mineralni materijal se iz peskolova evakuše mamut pumpom u procedni šaht neposredno pored peskolova, a koji konstruktivno čini deo ovog objekta. Voda se vraća nazad u proces, a pesak odvozi na deponiju.

Usvaja se da vreme zadržavanja (retenzije), za $Q_{\max} = 104.17 \text{ m}^3/\text{h}$, iznosi $t = 6 \text{ min}$.

Na taj način, potrebna korisna zapremina peskolova za maksimalno časovno optrećenje iznosi:

$$V(\text{m}^3) = \frac{t \cdot Q_{\max}}{60} = \frac{6 \cdot 104.17}{60} = 10.4$$

Predlaže se kružni peskolov tipa "Pista" po ugledu na peskolov "Unioninvest", po licenci "Passavant - Werke" tip 4 - 35, tako da se dobija:

- prečnik peskolova: $D_p = 3.50 \text{ m}$
- korisna zapremina peskolova: $V_p = 13 \text{ m}^3$
- vreme zadržavanja: $t = 6 \text{ min}$.

– **Merni kanal**

Nakon prolaska kroz peskolov, a pre raspodele i odlaska ka bioaeracionim bazenima, voda prolazi kroz merni uređaj za merenje proticaja tipa Venturi, kapaciteta 29 l/s .

– **Bioaeracioni bazen**

U procesu obrade otpadnih voda biološkim prečišćavanjem teži se da se u što većoj meri iz influenta uklone biološki razgradljive organske materije čime se postiže sniženje BPK zagađenih voda.

Kod procesa sa aktivnim muljem kontaktna površina za prenos kiseonika se ostvaruje preko formirane mase pahuljica mulja - aktivnog mulja. Kiseonik se unosi uduvanjem vazduha

ili mehaničkom izmenom mase otpadne vode u neposrednom kontaktu sa vazduhom. Organska materija u otpadnoj vodi služi kao hrana-energent mikroorganizmima, najčešće bakterijama, u aktivnom mulju.

Ekstracelularnom razgradnjom složenih organskih materija u aerobnim uslovima nastaju nižemolekulske organske materije, koje se mogu transportovati unutar ćelija bakterija. Unutar ćelija dolazi do intracelularne razgradnje nižemolekulskih organskih materija pod dejstvom enzima. Ovom prilikom se oslobađa energija, koja se koristi najvećim delom za metaboličke procese ćelija, a manjim delom se odaje u okolnu sredinu. Od ostataka organskih materija, koje čine gradivne jedinice, kao i od oslobođene energije, kojom se formiraju energetske gradivne jedinice, dolazi do nastajanja nove biomase u aktivnom mulju. Takođe, mineralizovani deo ostataka organskih materija se zadržava u pahuljama aktivnog mulja. Sve ovo čini da aktivni mulj postaje teži, pa gravitaciono brže tone.

Deo ćelija u aktivnom mulju sa vremenom odumire. Njihova biomasa služi kao hrana živim ćelijama aktivnog mulja, a mineralizovani ostaci mrtvih ćelija uvećavaju masu pahulje aktivnog mulja.

Posle određenog vremena broj aktivnih ćelija u pahuljici u odnosu na masu pahulje toliko padne, da pahulja više nema efikasnost potrebnu za biohemijske i metaboličke procese u razgradnji organskih materija iz otpadne vode. Ovako degradirane pahulje treba evakuisati iz otpadne vode, kako bi se forsirale sveže formirane i visoko aktivne pahuljice mulja. "Stare" izreagovale pahuljice mulja su gravitaciono teže od svežih pahulja, te se mogu međusobno razdvajati gravitaciono.

Tokom metaboličkih procesa aktivni mulj prolazi kroz dve faze: faze izgradnje ćelija (nastajanje nove biomase) i faze razgradnje ćelija (odumiranje izreagovale biomase), koje se odvijaju istovremeno, u okviru bioaeracionog bazena, a izdvajanje aktivnog mulja iz otpadne vode se vrši gravitaciono u naknadnom taložniku.

Mešavina zagađene vode (influenta) i aktivnog mulja iz bioaeracionog bazena neprestano otiče u naknadni taložnik radi gravitacionog izdvajanja biomase aktivnog mulja. Iz naknadnog taložnika prečišćena voda (efluent) odlazi prema daljem tretmanu. Istaložene pahuljice mulja neprekidno se vraćaju u bioaeracioni bazen radi mešanja sa novom količinom zagađene vode.

Aktivni mulj mora da se održava u suspenziji u toku kontakta sa zagađenom vodom koja se prečišćava, stalnom agitacijom - kretanjem influenta, tako da se postupak sastoji od sledećih operacija:

- mešanje influenta sa zagađenom vodom koja se prerađuje,
- aeracija i agitacija ove mešavine za potreban vremenski period, u bioaeracionom bazenu,
- odvajanje - separacija aktivnog mulja iz mešavine, u sekundarnom taložniku,
- vraćanje odgovarajuće količine aktivnog mulja (povratni mulj) u cilju ponovnog mešanja sa influentom,
- odstranjivanje i dispozicija viška aktivnog mulja.

U bioaeracionom bazenu se vrši transformacija organskih materija u energiju i živu materiju (biocenuzu) mikroorganizama - aktivni mulj koji se izdvaja taloženjem u sekundarnom taložniku, odakle se veći deo recirkuliše do bioaeracionog bazena i meša uz intenzivnu aeraciju sa influentom, dok se drugi, manji deo aktivnog mulja, kao višak, šalje na dalji tretman mulja.

Kako je objašnjeno u prethodnim poglavljima ovog projekta, zahtevani kvalitet finalnog efluenta može se postići tzv. postupkom produžene aeracije. Naime, trajanje aeracije se tada uzima od 18- 36^h, posmatrano za srednje dnevne količine otpadnih voda

Dimenzionisanje bioeracionog bazena izvršeno je na sledeći način:

- hidrauličko opterećenje iznosi: $Q_{sr}^d = 14.47 \text{ l/s} = 1250 \text{ m}^3 \text{ na dan} = 52.08 \text{ m}^3/\text{h}$
- biološko opterećenje influenta iznosi: $B = 350 \text{ kg BPK}_5 \text{ na dan} = 14.58 \text{ kgBPK}_5/\text{h}$
- koncentracija BPK_5 u sirovoj vodi iznosi: $\text{CBPK}_{5,\text{inf}} = 280 \text{ mg/l}$
- zahtevana koncentracija BPK_5 u finalnom efluentu iznosi: $\text{CBPK}_{5,\text{dozv}} = 25 \text{ mg/l}$
- potrebno biološko opterećenje bioeracionog bazena za produženu aeraciju po jedinici zapremine bazena kreće se u granicama od $0.1\text{-}0.4 \text{ kgBPK}_5/\text{m}^3 \text{ na dan}$, pa se usvaja: $B_v = 0.25 \text{ kgBPK}_5/\text{m}^3 \text{ na dan}$
- obzirom da se u procesu predtretmana, na rešetkama, odstranjuje 10% od ukupnog opterećenja, dobija se potrebna zapremina bioeracionog bazena:

$$V_{BB} (\text{m}^3) = \frac{0.9 \cdot Q_{sr}^d}{B_v} = \frac{0.9 \cdot 350}{0.25} = 1260$$

Kako je već više puta navedeno u prethodnom tekstu, radi ispravnog funkcionisanja postrojenja, odnosno biološkog prečišćavanja, bioeracioni bazen se mora "razbiti" na više manjih jedinica, kako bi se zadržala fleksibilnost u radu, odnosno kako bi se bez problema pratile različite količine otpadnih voda koje dotiču na postrojenje i kako bi se nesmetano primali, kako "udari", tako i minimalni doticaji. Iz tih razloga usvojeno je da se izvrši podela na dva bioeraciona bazena sa naknadnim taložnicima, koji će, uz ostale objekte, garantovati zahtevani kvalitet finalnog efluenta.

Usvajaju se dva bioeraciona bazena zapremine od po $V_B = 630 \text{ m}^3$

Definitivne zapremine, odnosno dimenzije bioeracionih bazena biće usvojene nakon dimenzionisanja naknadnih taložnika, obzirom da su ovi objekti objedinjeni u "kombinovane objekte" u vidu mono blokova.

Opterećenje mase mulja za proces produžene aeracije kreće se u granicama od $0.05\text{-}0.15 \text{ kg BPK}_5/\text{kg SM na dan}$.

Usvaja se: $B_{SM} = 0.05 \text{ kg BPK}_5/\text{kg SM na dan}$, na osnovu čega proizilazi da koncentracija suve materije aktivnog mulja u bioeracionom bazenu iznosi 5 kg/m^3 .

Okvirne granice za koncentraciju suve materije aktivnog mulja za produženu aeraciju iznose od $3\text{-}6 \text{ kg/m}^3$.

Za potrebe aerobnog tretmana otpadne vode i aerobne stabilizacije mulja postupkom produžene aeracije usvaja se specifična potrošnja kiseonika u visini od: $\text{OC/load} = 2.5 \text{ kg O}_2/\text{kg BPK}_5$, pa je ukupno potreban kiseonik od $36.5 \text{ kg O}_2/\text{h}$, odnosno po bazenima $2 \times 18.25 \text{ kg O}_2/\text{h}$.

Za svaki bioeracioni bazen usvajaju se po jedan mamut rotor $\varnothing 1000 \text{ mm}$ dužine 4.5 m , sličan tipu KN 110, Passavant. Prilikom dimenzionisanja aeracije pomoću mamut rotora usvaja se da unos kiseonika iznosi $7.0 \text{ kg O}_2/\text{h}$ po dužnom metru mamut rotora pri uronu lopatica od 22 cm . Dužinom od 4.5 metara postizemo unos kiseonika od $31.5 \text{ kg O}_2/\text{h}$.

Prema dijagramu proizvođača i sračunatoj potrebnoj količini kiseonika za aeraciju od $20.0 \text{ kg O}_2/\text{h}$, za postavljene mamut rotore dubina urona lopatica iznosi oko 13 cm . Dubina urona lopatica se reguliše na regulacionom prelivu, odnosno regulacijom nivoa vode u bioeracionom bazenu.

– Naknadni taložnik

Za separaciju biološkog mulja iz tretirane vode, nakon njenog izlaska iz bioaeracionog bazena, predviđa se gravitacioni postupak u naknadnom taložniku. Suština procesa sa aktivnim muljem je da se deo izdvojenog mulja iz naknadnog taložnika (povratni mulj) kontinuirano vraća u bioaeracioni bazen. Višak izdvojenog mulja iz naknadnog taložnika se mora ukloniti pre nego što se potpuno izgubi njegova aktivnost, odnosno pre uginuća aerobnih mikroorganizama na dnu sekundarnog taložnika usled nedostatka kiseonika.

Dimenzionisanje naknadnog taložnika u postupku produžene aeracije vrši se prema površinskom opterećenju koje se prosečno kreće u granicama od 8-16 m³/m²-dan, odnosno maksimalno u granicama od 24-32 m³/m² na dan, kao i opterećenju muljem koje se prosečno kreće u granicama od 1-5 kg/m²-h, odnosno maksimalno od 7 kg/m²-h.

Obračun za naknadni taložnik se vrši za prosečno dnevno opterećenje za 18 sati:

$$Q_{18} \text{ (m}^3 \text{ / h)} = Q_{sr}^d \cdot \frac{24}{18} = 52.08 \cdot \frac{24}{18} = 69.44$$

Kako se radi o dve jedinice, prosečno dnevno opterećenje Q_{18} po jedinici iznosi 2×34.72 m³/h.

Hidrauličko opterećenje bioaeracionog bazena otpadnom vodom za dve jedinice iznosi 2×34.72 m³/h. Koncentracija suve materije mulja u bioaeracionom bazenu iznosi 5 kg/m³.

Usvaja se maseno opterećenje površine naknadnog taložnika od 5 kg/m²-h, što odgovara hidrauličkom opterećenju od 1 m³/m²-h (24 m³/m² na dan). Tako je brzina "proticanja" kroz naknadni taložnik (prelivna brzina) 1.0 m/h, pa se dobija da je ukupna površina naknadnog taložnika 69.44 m², odnosno po 2×34.72 m².

Taloženje aktivnog mulja spada u takozvani difuzni zavisni, odnosno zonski (usporeni) tip taloženja, koje se definiše po teoriji G.J. Kynch-a. Ovo taloženje karakteriše značajno veća visina prelaznog sloja (zona taloženja), odnosno sloja u kome se vrši razdvajanje tečne i čvrste faze, nego u ostalim slučajevima taloženja.

Minimalna dubina vode u taložniku predstavlja zbir potrebnih minimalnih dubina za zonu zgušnjavanja, zonu razdvajanja faza i zonu čiste vode, odnosno:

$$h_{\min} = h_1 + h_2 + h_3, \text{ gde su:}$$

$$h_1 = 0.5 \text{ m (obzirom da je indeks mulja: } I_M = 100 \text{ l/kg SM),}$$

$$h_2 = 2.5 \text{ m,}$$

$$h_3 = 0.5 \text{ m,}$$

pa se dobija da je minimalna dubina u taložniku: $h_{\min} = 3.5 \text{ m}$.

Usvajaju se dva naknadna taložnika sledećih dimenzija:

— prečnik:	$D_{NT} = 6.7 \text{ m}$
— dubina:	$h = 3.5 \text{ m}$
— površina:	$P_{NT} = 35.24 \text{ m}^2$
— zapremina:	$V_{NT} = 123.34 \text{ m}^3$

Vreme zadržavanja treba da je relativno kraće, usled sprečavanja anaerobnih procesa na aktivnom mulju. Uobičajene vrednosti za prosečni kapacitet Q_{18} se kreću od 2.7-4 h.

Za prosečno kapacitet Q_{18} vreme zadržavanja iznosi $t = 3.5$ h, za maksimalni kapacitet Q_{\max} iznosi $t = 2.4$ h, a za srednje dnevni kapacitet Q_{sr}^d iznosi $t = 4.6$ h.

Prema usvojenim dimenzijama naknadnog taložnika, uz debljinu pregradnog zida od 30 cm, dobijaju se dimenzije "kombinovanog objekta" (bioeracionog bazena i naknadnog taložnika u vidu mono bloka) kako sledi :

— prečnik naknadnog taložnika :	$D_{NT} = 6.7 \text{ m}$
— dubina vode u naknadnom taložniku:	$h_{NT} = 3.5 \text{ m}$
— širina bioeracionog bazena:	$B_{BB} = 4.5 \text{ m}$
— dubina vode u bioeracionom bazenu:	$h_{BB} = 4.0 \text{ m}$

– Crpna stanica za transport prečišćene vode do recipijenta

Iz naknadnih taložnika, prečišćena voda odlazi cevovodima do šahtova, mernog šahta i na kraju do crpne stanice koja pod pritiskom transportuje prečišćenu vodu do izlivne građevine. Usvaja se crpna stanica šahtnog tipa sa dve potopljene pumpe (jedna radna i jedna rezervna) kapaciteta po 29.0 l/s.

– Izlivna građevina

Iz naknadnog taložnika, prečišćena voda odlazi cevovodima do šahtova, mernog šahta i na kraju do izlivne građevine, locirane uz recipijent.

3.3.1.2. Linija mulja

– Crpna stanica za recirkulaciju mulja

Količina povratnog recirkulacionog mulja zavisi od tzv. recirkulacionog odnosa, tj. od odnosa sadržaja mulja u bioeracionom bazenu ($SM = 5 \text{ kg SM/m}^3$), koncentracije povratnog mulja koja se dobija prema indeksu mulja ($I_m = 100 \text{ l/kg}$) i koncentracije suve materije ($SM_{RM} = 10 \text{ kg SM/m}^3$).

Tada recirkulacioni odnos iznosi:

$$RO_{RM} = \frac{SM}{SM_{RM} - SM} = \frac{5}{10 - 5} = 1$$

Dobija se da ukupna količina recirkulacionog mulja iznosi: $Q_{RM} = 28.97 \text{ l/s}$.

Usvaja se crpna stanica šahtnog tipa sa potopljenim muljnim pumpama, tri pumpe (dve radne i jedna rezervna), kapaciteta po 14.5 l/s i visinom dizanja od 10 m.

Usvajena je pumpa iz proizvodnog programa fabrike "Jastrebac" iz Niša tip:

Povratni mulj se potisnim cevovodom vraća u razdelni šaht odakle dalje odlazi ka bioeracionim bazenima.

– Gravitacioni zgušnjivač mulja - silos za mulj

Tehnologijom produžene aeracije se vrši, pored biološke razgradnje rastvorenih organskih materija i aerobna stabilizacija mulja u bioeracionom bazenu. Stoga se primarni mulj, koji dolazi sa otpadnom vodom, ne izdvaja pre bioeracionih bazena.

Tako iz naknadnih taložnika izlazi kombinovani mulj, aerobno stabilizovani primarni mulj i aktivni mulj.

Višak mulja iz naknadnog taložnika se normira sa 0.2 kg SM/m^3 na dan.

Procenjena količina viška mulja iznosi 333.3 kg na dan.

Koncentracija mulja u naknadnom taložniku u ovakvim postrojenjima se normira na 10 kgSM/m³, pa očekivana zapremina viška mulja iznosi 34 m³ na dan.

Radi smanjenja zapremine izdvojenog mulja i povećanja sadržaja suve materije koristi se silos za mulj. Specifično opterećenje silosa za mulj (koncentracija mulja) kreće se od 25 do 60 kg suve materije po 1m² silosa za mulj na dan.

Za usvojeno maseno opterećenje površine silosa $g_s = 25$ kgSM/m² na dan, i očekivane količine viška mulja od $Q_{max}^d = 333.3$ kg na dan dobija se potrebna površina zgušnjivača:

$$P(m^2) = \frac{Q_{max}^d}{g_s} = \frac{333.3}{25} = 13.34$$

Usvaja se površina silosa od $P_s = 14$ m².

Usvaja se prečnik silosa od $D_s = 4.3$ m.

Planirano vreme zadržavanja mulja u silosu iznosi 2 dana.

Potrebna zapremina silosa za dvodnevno zadržavanje mulja iznosi: 70 m³.

Potrebna visina silosa iznosi: $H_s = 5$ m.

– Polja za sušenje mulja

Stabilizovani mulj se iz silosa za mulj dovodi do polja za sušenje mulja. Specifična površina otvorenih polja po jednom ES uzima se od 0.08 do 0.2 m². Usvajanjem vrednosti 0.1 m² dobija se da je ukupna potrebna površina polja za sušenje mulja $P = 500$ m².

Usvaja se po 8 polja (po 4 za svaku fazu), dimenzija kako sledi:

- širina polja: $B = 5.0$ m
- dužina polja: $L = 12.5$ m.

Sa polja za sušenje, mulj se odvozi na lokalnu deponiju ili se može koristiti u vidu visokovrednog đubriva.

3.3.2. Hidraulički proračun po liniji vode

Ukupne količine otpadnih voda za navedeno postrojenje će biti:

- $Q_{sr}^d = 5\,000 \cdot 250 \text{ l/st na dan} = 1\,250 \text{ m}^3 \text{ na dan} = 14.47 \text{ l/s}$
- $Q_{max}^h = 2.00 \cdot 14.47 = 28.94 \text{ l/s}$
- Usvojen je maksimalni časovni kapacitet $Q_{max}^h = 29.0 \text{ l/s}$.

Hidraulički proračun je sproveden u relativnim kotama, uzimajući za "nultu" kotu (± 0.00) kotu na koju je potrebno prepumpati vodu na ulazu u postrojenje.

– Naknadni taložnik

Hidraulički proračun po liniji vode početak je od obodnog kanala naknadnog taložnika, tako da je sa $\nabla-K$ označena kota vode u obodnom kanalu naknadnog taložnika, što je i početna kota.

$$\begin{aligned} \nabla-NT & \text{ - kota u naknadnom taložniku} \\ \nabla-NT & = \nabla-K + \Delta h \end{aligned}$$

Mora se obezbediti nepotopljeno prelivanje, a za to je dovoljno da nivo donje vode bude niži od krune preliva.

Prema slici 1 hidraulički gubitak na naknadnom taložniku je: $\Delta h = 0.09 + h_p$

Maksimalno očekivana količina vode u obodnom kanalu je:

$$Q_{mer} \text{ (l / s)} = \frac{Q_{max}^h + Q_{rec \text{ mulja}}}{2} = \frac{29.0 + 14.50}{2} = 21.75 \approx 22$$

Prečnik naknadnog taložnika je $D_{NT} = 5.7 \text{ m}$. Dužina prelivne ivice se izračunava iz relacije:

$$B \text{ (m)} = (D_{NT} - 0.5) \cdot \pi = 19.47$$

Maksimalno opterećenje prelivne ivice iznosi:

$$q_p \text{ (l / s} \cdot \text{m')} = \frac{Q_p}{B} = \frac{22}{19.47} = 1.12$$

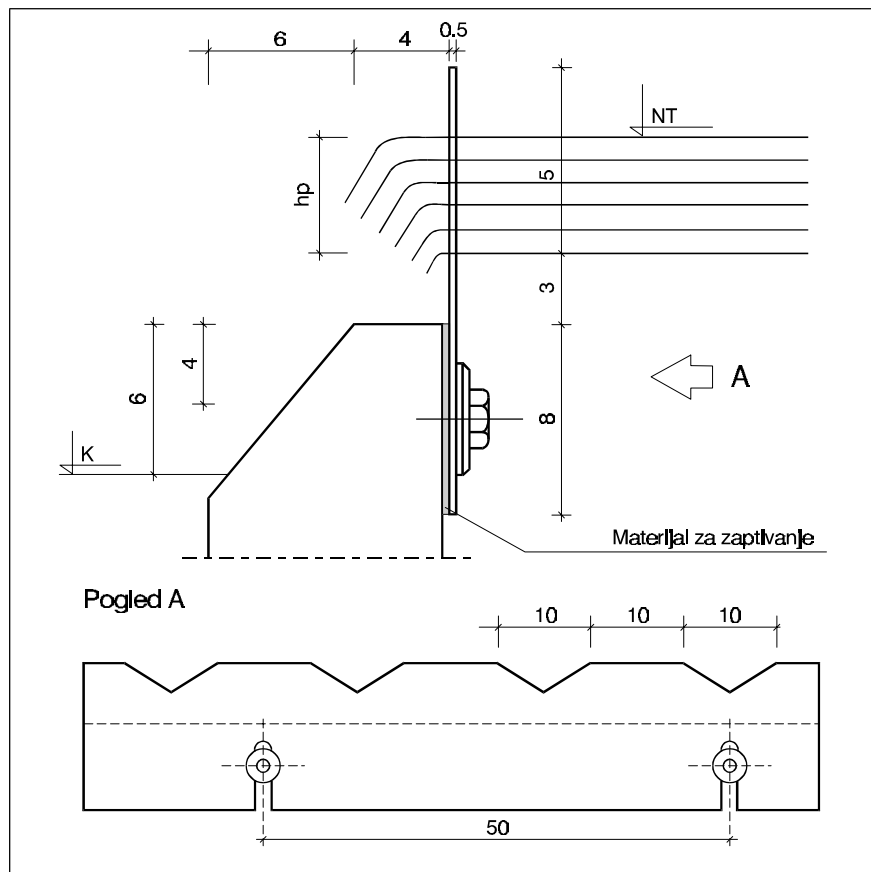
Na osnovu dobijenih vrednosti, prema dijagramu sa slike 2, dobija se visina prelivnog mlaza $h_p = 0.03 \text{ m}$ pa je:

$$\Delta h = 0.09 + 0.03 = 0.12 \text{ m}$$

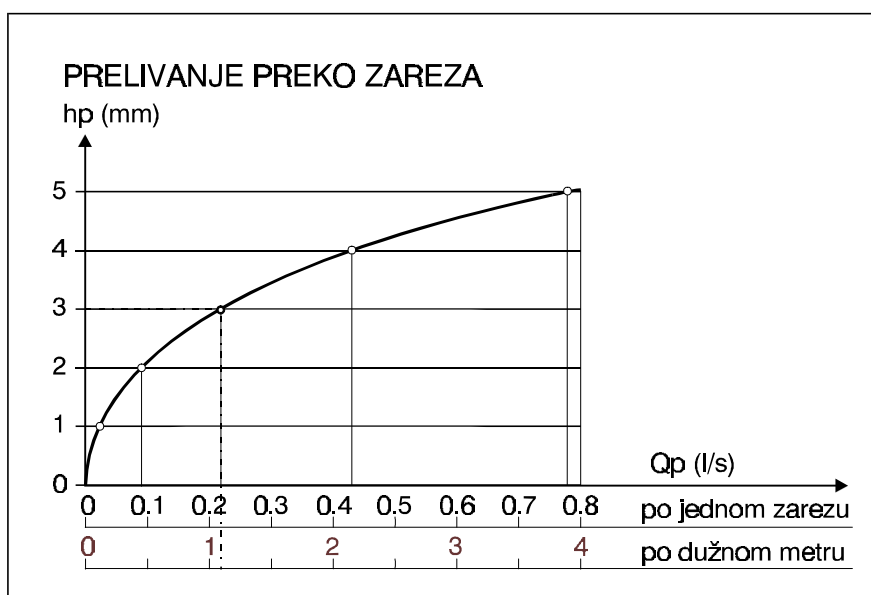
Usvaja se $\Delta h = 0.12 \text{ m}$, pa kota nivoa vode u naknadnom taložniku iznosi:

$$\nabla-NT = \nabla-K + 0.12 \text{ m}$$

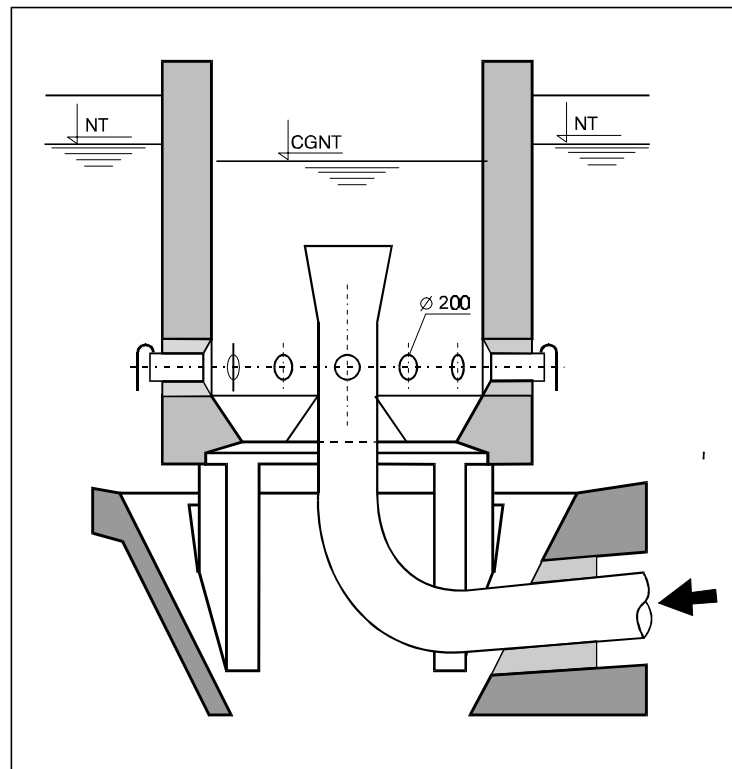
Slika 16 - Detalj - testerasti preliv



Slika 17 - Dijagram zavisnosti visine preliivanja od protoka



Slika 18 - Centralna građevina naknadnog taložnika



Proračun Štengelovih ulaznih elemenata

Tretirana otpadna voda iz bioaeracionog bazena, zajedno sa aktivnim muljem, evakuiraju se preko preliva po obodu bioaeracionog bazena, odakle se sifonskim cevovodom odvodi u centralnu građevinu u naknadnom taložniku.

Na centralnoj građevini naknadnog taložnika nalaze se po obodu postavljeni otvori za uvođenje tretirane otpadne vode i aktivnog mulja iz bioaeracionog bazena u naknadni taložnik.

Kota vode u centralnoj građevini naknadnog taložnika je ∇ -CGNT.

$$\nabla$$
-CGNT = ∇ -NT + Δh

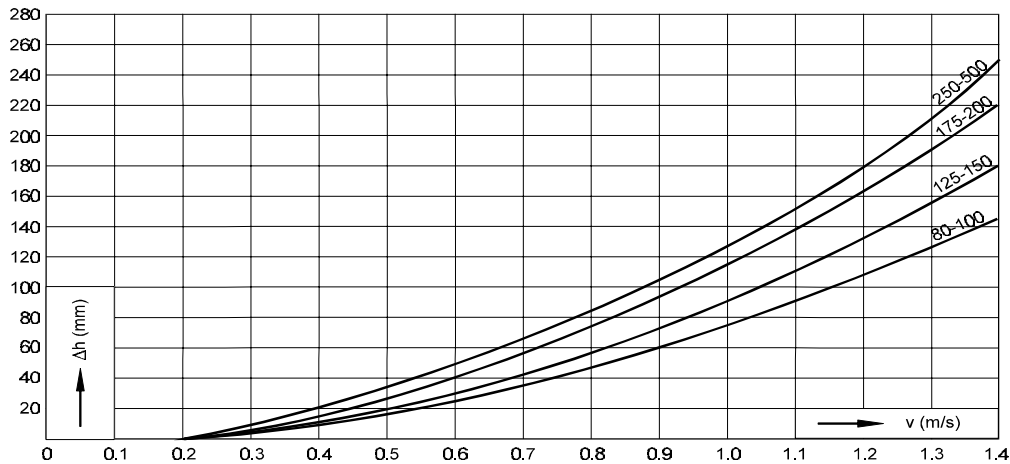
Usvaja se vrednost Štengelovog elementa od $\varnothing 200$ mm.

Usvaja se ukupno 8 simetrično postavljenih Štengelovih otvora, po 4 otvora po obodu centralne građevine svakog naknadnog taložnika (slika 18).

Prema dijagramu za izračunavanje hidrauličkih gubitaka od naknadnog taložnika do centralne građevine (slika 19), dobija se vrednost brzine isticanja vode kroz 8 otvora (4 otvora po jednom naknadnom taložniku) prečnika $\varnothing 200$ mm:

$$v(\text{m / s}) = \frac{Q_{\text{mer}}}{A_{\text{otv}}} = \frac{0.022}{4 \cdot 0.2^2 \cdot \pi / 4} = 0.17$$

Slika 19 - Dijagram zavisnosti hidrauličkih gubitaka od brzine kod Štengelovih prstenova



Dobijena brzina isticanja $v = 0.17 \text{ m/s}$ je manja od $v_{\text{doz}} = 0.8 \text{ m/s}$.

Na osnovu dijagrama (slika 19) je $\Delta h = 0.01 \text{ m}$.

Kota nivoa vode u centralnoj građevini naknadnog taložnika iznosi:

$$\nabla \text{CGNT} = \nabla \text{NT} + 0.01 \text{ m}$$

$$\nabla \text{CGNT} = \nabla \text{K} + 0.13 \text{ m}$$

- Bioeracioni bazen

Maksimalno očekivana količina vode u sifonskom cevovodu od bioeracionog bazena do centralnog cilindra naknadnog taložnika (slika 20) je polovina početnog merodavnog proticaja $Q_{\text{mer}} = 0.022 \text{ m}^3/\text{s}$.

Usvaja se sifonski cevovod prečnika $D = 300 \text{ mm}$ i dužine $L = 17.00 \text{ mm}$.

Gubitak pritiska u sifonskom vodu - Δh (m), izračunava se iz izraza:

$$\Delta h = \left(\xi_1 + 2 \cdot \xi_2 + \xi_3 + \lambda \cdot \frac{L}{D} \right) \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$\xi_1 = 0.5$ - koeficijent lokalnog gubitka na ulazu

$\xi_2 = 0.21$ - koeficijent lokalnog gubitka na kolenu 90°

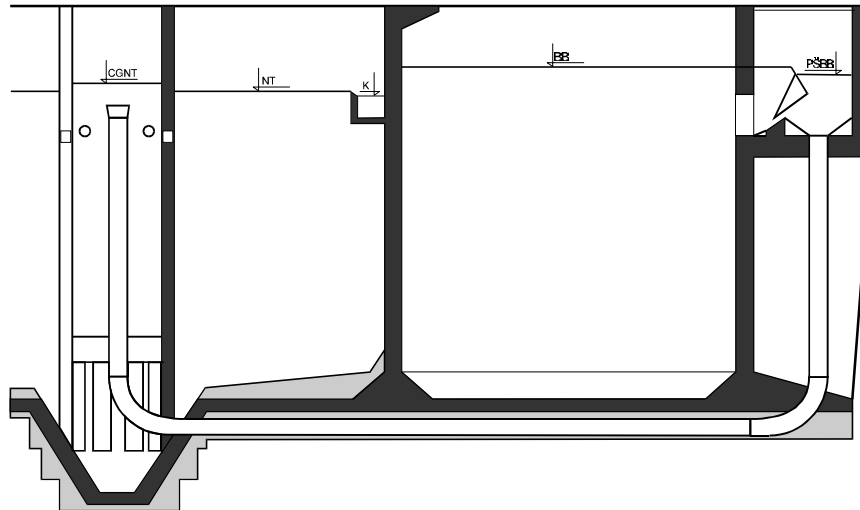
$\xi_3 = 0.5$ - koeficijent lokalnog gubitka na izlazu

$\lambda = 0.038$ - koeficijent linijskog otpora

$$\Delta h(\text{m}) = \left(0.50 + 2 \cdot 0.21 + 0.50 + 0.038 \cdot \frac{17.00}{0.30} \right) \cdot \frac{\left[\frac{0.022}{\frac{0.3^2 \cdot \pi}{4}} \right]^2}{2 \cdot 9.81} = 0.017 \approx 0.02$$

Usvaja se vrednost gubitka pritiska u sifonskom vodu od $\Delta h = 0.02 \text{ m}$.

Slika 20 - Detalj - bioaeracioni bazen



Kota nivoa vode u prelivnom šahtu bioaeracionog bazena - ∇ -PŠBB iznosi:

$$\begin{aligned}\nabla\text{-PŠBB} &= \nabla\text{-CGNT} + \Delta h = \nabla\text{-CGNT} + 0.02 \text{ m} \\ \nabla\text{-PŠBB} &= \nabla\text{-K} + 0.15 \text{ m}\end{aligned}$$

Proračun visine preliivanja na podesivom prelivu u bioaeracionom bazenu

Maksimalno očekivana količina vode na ulazu u svaki biološki bazen je polovina početnog maksimalnog proticaja $Q_{\text{mer}} = 0.022 \text{ m}^3/\text{s}$.

Usvaja se dužina podesivog preliiva od $b = 1.00 \text{ m}$.

Za koeficijent proticaja $\mu = 0.46$, potrebna visina preliivanja iz bioaeracionog bazena iznosi:

$$H(\text{m}) = \left(\frac{Q_{\text{mer}}}{C_p \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{2/3} = \left(\frac{0.022}{0.46 \cdot 1 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81}} \right)^{2/3} = 0.0482 \approx 0.05$$

Kota nivoa vode u bioaeracionom bazenu iznosi:

$$\nabla\text{-BB} = \nabla\text{-PŠBB} + \Delta h$$

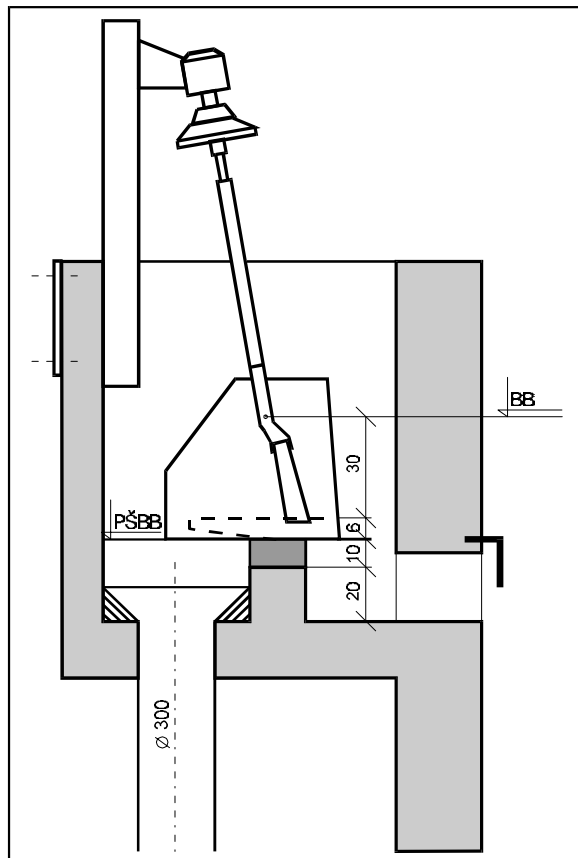
Sada je hidraulički gubitak na prelivu:

$$\Delta h = 0.06 \text{ m} + 0.30 \text{ m} + h_p = 0.06 \text{ m} + 0.30 \text{ m} + 0.05 \text{ m} = 0.41 \text{ m}$$

Kota nivoa vode u bioaeracionom bazenu iznosi:

$$\begin{aligned}\nabla\text{-BB} &= \nabla\text{-PŠBB} + 0.41 \text{ m} \\ \nabla\text{-BB} &= \nabla\text{-K} + 0.56 \text{ m}\end{aligned}$$

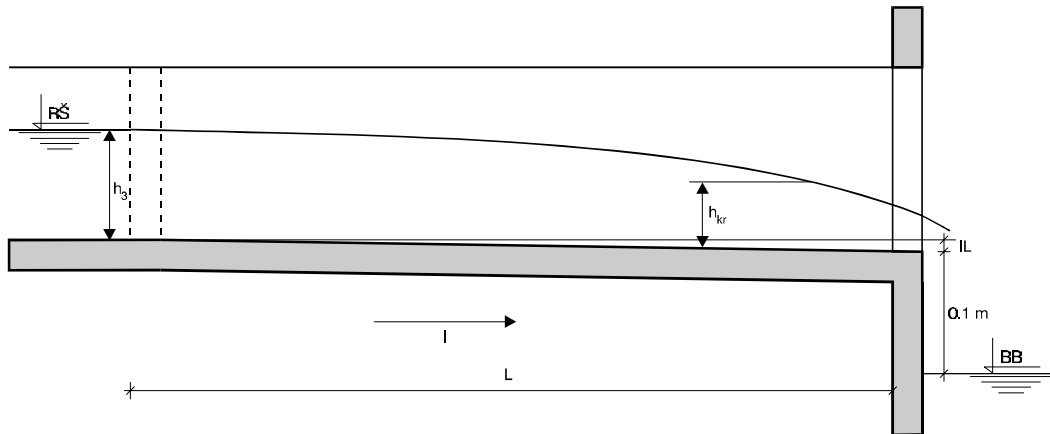
Slika 21 - Regulacioni preliv



– Proračun kanala od razdelne šahte do bioeracionog bazena

Kota nivoa vode u razdelnom šahtu je ∇ -RŠ .

Slika 22 - Kanal od razdelne šahte do bioeracionog bazena



Prema slici 22, vidi se da je kota u razdelnom šahtu:

$$\nabla\text{-RŠ} = \nabla\text{-BB} + \Delta h$$

Ukupni hidraulički gubitak u kanalu - Δh , iznosi:

$$\Delta h = 0.10 \text{ m} + \Delta h_L + h_3$$

Za usvojeni pad kanala od $i = 3\text{‰}$, kao i dužinu kanala $L = 15 \text{ m}$, dobijamo linijske gubitke duž kanala:

$$\Delta h_L = i \cdot L = 0.003 \cdot 15 = 0.045 \approx 0.5 \text{ m}$$

Kritična dubina vode, sa kojom voda iz kanala izlazi u bioeracioni bazen, proračunava se iz izraza:

$$h_{kr} \text{ (m)} = \sqrt[3]{\frac{Q_{max}^2}{g \cdot b^2}} = \sqrt[3]{\frac{0.029^2}{g \cdot 0.4^2}} = 0.08$$

Dubina vode iza mernog kanala iznosi: $h_3 = 0.16 \text{ m}$ (iz hidrauličkog proračuna mernog objekta datog u nastavku). Tako je ukupni hidraulički gubitak u kanalu:

$$\Delta h = 0.10 + 0.05 + 0.16 = 0.31 \text{ m}$$

Kota nivoa vode u razdelnom šahtu iznosi:

$$\nabla\text{-RŠ} = \nabla\text{-BB} + 0.31 \text{ m}$$

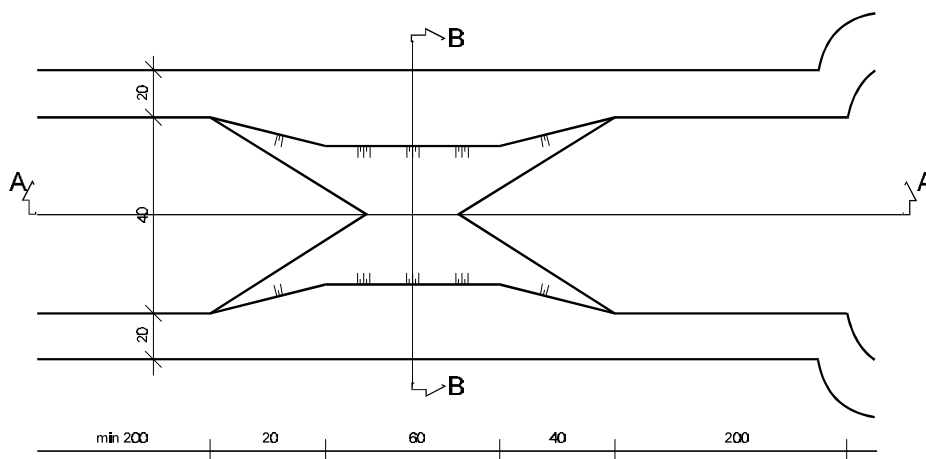
$$\nabla\text{-RŠ} = \nabla\text{-K} + 0.87 \text{ m}$$

d) Proračun gubitka visine na mernom kanalu

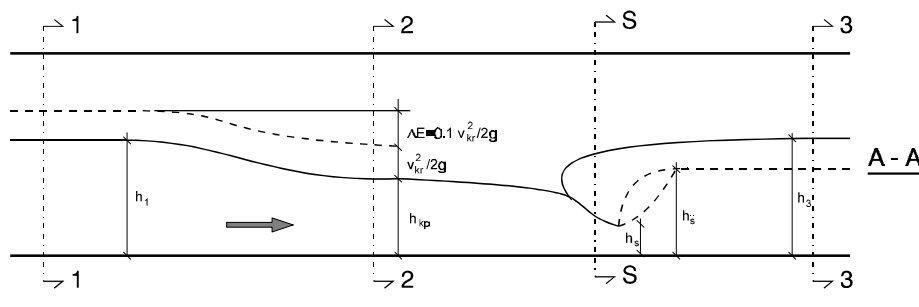
Kota nivoa vode na ulazu u merni kanal je ∇ MK .

$$\nabla \text{MK} = \nabla \text{RŠ} + \Delta h$$

Slika 23 - Merni kanal - osnova i podužni presek



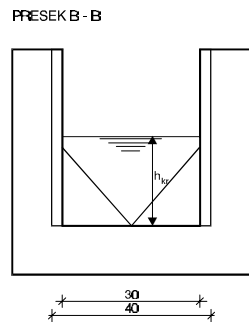
PRESEK A - A



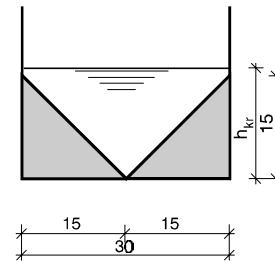
NAPOMENA: Proračun je sproveden za merni kanal kod koga se merenje protoka vrši merenjem dve dubine: h_1 i h_{kr} . U realnim uslovima merenjem ove dve dubine na mernom kanalu dobija se rezultat koji ne zavisi od toga da li je u suženju ostvarena kritična dubina h_{kr} , ili ne. Praksa je pokazala da je postizanje kritične dubine u suženju neizvesno i zavisi od mnogo faktora (način izvođenja, ekstremi protoka, ...).

Ukoliko se ipak želi ostvariti jednoznačna veza između dubine i protok, merenjem samo dubine u suženju, za primer kako se vrši dimenzionisanje, pogledati u Literaturi naznačenu publikaciju pod rednim brojem 44.

Slika 24 - Poprečni presek



Slika 25 - Dimenzije preseka



Gubitak visine na meraču protoka

Maksimalno očekivana količina vode u kanalu merača protoka je $Q_{\max}^h = 0.029 \text{ m}^3/\text{s}$.

Usvojen je merni kanal širine $b = 300 \text{ mm}$.

Za određivanje kritične dubine u kanalu merača protoka koristi se Frudov broj:

$$F_R = 1 = \frac{Q_{\max}^h \cdot B}{g \cdot A_{kr}^3}$$

$B = b$ - širina vodenog ogledala

Poprečni presek za kritičnu dubinu iznosi:

$$A_{kr} (\text{m}^2) = B \cdot \left(h_{kr} - \frac{B}{2} \right) + \left(\frac{B}{2} \right)^2 = 0.3 \cdot (h_{kr} - 0.15) + 0.15^2 =$$

$$= 0.3 \cdot h_{kr} - 0.3 \cdot 0.15 + 0.15^2 = 0.3 \cdot h_{kr} - 0.0225$$

$$F_R = 1 = \frac{0.029^2 \cdot 0.30}{g \cdot (0.30 \cdot h_{kr} - 0.0225)^3}$$

$$h_{kr} (\text{m}) = \frac{\sqrt[3]{\frac{0.029^2 \cdot 0.30}{g}} + 0.0225}{0.30} = 0.17 \Rightarrow A_{kr} (\text{m}^2) = 0.3 \cdot 0.17 - 0.0225 = 0.0285$$

Kritična brzina proticaja iznosi:

$$v_{kr} (\text{m} / \text{s}) = \frac{Q_{\max}^h}{A_{kr}} = \frac{0.029}{0.0285} = 1.02$$

Bernulijeva jednačina za preseke 1-1 i 2-2 iznosi:

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = h_{kr} + \frac{v_{kr}^2}{2 \cdot g} + 0.1 \frac{v_{kr}^2}{2 \cdot g}$$

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = 0.17 + 1.1 \cdot \frac{1.02^2}{2 \cdot g} = 0.23 \text{ m}$$

$$h_1 = 0.23 - \frac{v_1^2}{2 \cdot g}$$

$$h_1 \cdot b_1 \cdot v_1 = Q_{\max}^h$$

$$b_1 (m) = 0.4$$

$$h_1 \cdot v_1 = \frac{Q_{\max}^h}{b_1} = \frac{0.029}{0.40} = 0.0725$$

$$0.23 \cdot v_1 - \frac{v_1^3}{2 \cdot g} - 0.0725 = 0$$

$$v_1 = 0.32 \text{ m / s}$$

Iz prethodnih relacija se dobija da dubina kanala u preseku 1-1, h_1 iznosi:

$$h_1 = 0.23 \text{ m}$$

Bernulijeva jednačina za preseke 2-2 i S-S iznosi:

$$h_{kr} + \frac{v_{kr}^2}{2 \cdot g} = h_s + \frac{v_s^2}{2 \cdot g} + 0.15 \cdot \frac{v_s^2}{2 \cdot g}$$

$$h_s + 1.15 \cdot \frac{v_s^2}{2 \cdot g} = h_{kr} + \frac{v_{kr}^2}{2 \cdot g} = 0.22 \text{ m}$$

$$h_s = 0.22 - 1.15 \cdot \frac{v_s^2}{2 \cdot g}$$

$$v_{kr} \cdot A_{kr} = b_3 \cdot h_s \cdot v_s$$

$$h_s \cdot v_s = \frac{v_{kr} \cdot A_{kr}}{b_3} = \frac{1.02 \cdot 0.0285^2}{0.40} = 0.07268$$

$$0.22 \cdot v_s - 1.15 \cdot \frac{v_s^3}{2 \cdot g} - 0.07268 = 0 \Rightarrow v_s = 1.74 \text{ m / s}$$

Iz prethodnih relacija se dobija da dubina kanala - h_s u preseku S-S iznosi:

$$h_s = 0.04 \text{ m} < h_{kr} = 0.17 \text{ m}$$

Kritična dubina u preseku 3-3 iznosi:

$$h_{kr_3} (m) = \sqrt[3]{\frac{Q_{\max}^h}{g \cdot b_3^2}} = \sqrt[3]{\frac{0.029^2}{g \cdot 0.40^2}} = 0.08$$

Konjugovana spregnuta dubina hidrauličkog skoka - h_s'' u preseku S-S iznosi:

$$h_s'' = \frac{h_s}{2} \cdot \left[\sqrt{1 + 8 \cdot \frac{Q_{\max}^h}{g \cdot b_3^2 \cdot h_s^3}} - 1 \right] = \frac{0.04}{2} \cdot \left[\sqrt{1 + 8 \cdot \frac{0.029^2}{g \cdot 0.40^2 \cdot 0.04^3}} - 1 \right] = 0.145$$

Konjugovana spregnuta dubina mora biti veća od kritične dubine : $h_s'' > h_{kr_3}$

Uslov koji osigurava potopljenost hidrauličkog skoka je da dubina u preseku 3-3 iznosi:

$$h_s \geq 1.1h_s'' = 0.159 \approx 0.16 \text{ m}$$

Razlika nivoa - Δh u presecima 1-1 i 3-3 iznosi:

$$\Delta h = 0.23 - 0.16 = 0.07 \text{ m}$$

Kota nivoa vode u mernom kanalu iznosi:

$$\begin{aligned} \nabla \text{MK} &= \nabla \text{RŠ} + \Delta h \\ \nabla \text{MK} &= \nabla \text{RŠ} + 0.07 \text{ m} \\ \nabla \text{MK} &= \nabla \text{K} + 0.94 \text{ m} \end{aligned}$$

– Aerisani peskolov

Maksimalno hidrauličko opterećenje peskolova biće $Q_{\max}^h = 0.029 \text{ m}^3/\text{s}$. Kota nivoa vode na ulazu u peskolov je:

$$\nabla \text{PESK} = \nabla \text{MK} + \Delta h$$

Bernulijeva jednačina za peskolov za presek 1-1 glasi:

$$h + \frac{v^2}{2 \cdot g} = h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + 2.5 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

v - ulazna brzina u peskolov

$$h - 1.5 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = 0.235$$

$$v \cdot h \cdot b = Q_{\max}^h$$

$$v \cdot h = \frac{0.029}{0.4} = 0.0725$$

$$v \cdot h = 0.235 \cdot v + 1.5 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0.0725$$

Iz navedenih relacija se dobija ulazna brzina u peskolov: $v=0.30 \text{ m/s}$

Dubina vode u peskolovu iznosi:

$$h=0.24 \text{ m}$$

Razlika nivoa vode u peskolovu i preseku 1-1 iznosi:

$$\Delta h = h - h_1 = 0.24 - 0.23 = 0.01 \text{ m}$$

Kota nivoa vode u peskolovu iznosi:

$$\begin{aligned} \nabla \text{PESK} &= \nabla \text{MK} + 0.01 \text{ m} \\ \nabla \text{PESK} &= \nabla \text{K} + 0.95 \text{ m} \end{aligned}$$

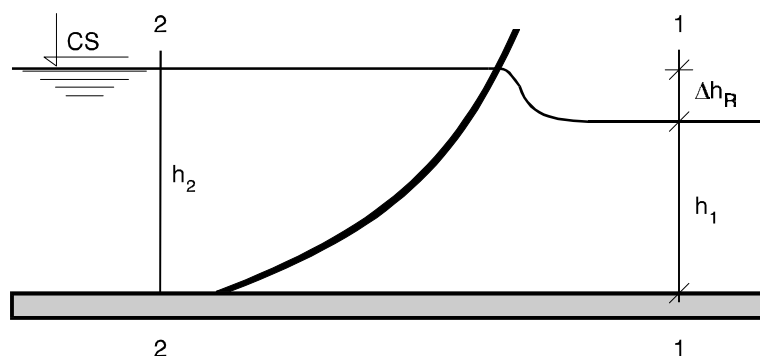
– **automatska lučna rešetka**

Kota nivoa vode u kanalu iza crpne stanice je jednaka koti peskolova - ∇ -PESK, uvećanoj za hidraulički gubitak na automatskoj rešetki - $\Delta h = \Delta h_R$.

$$\nabla\text{-CS} = \nabla\text{-PESK} + \Delta h$$

$\Delta h = \Delta h_R$ -gubitak na automatskoj rešetki.

Slika 26 - Šema automatske rešetke u preseku



Bernulijeva jednačina za dva preseka, presek 1-1 i presek 2-2, glasi:

$$h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + \Delta h$$

$$\Delta h = h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} - h_1 - \frac{v_1^2}{2 \cdot g} \quad 1.$$

Jednačina kontinuiteta za presek kroz rešetku glasi:

$$v_2 \cdot A_2 = Q_{\max}^h$$

$$v_2 \cdot h_2 \cdot n \cdot b \cdot K_R = Q_{\max}^h \quad 2.$$

n- broj otvora

b- širina otvora (razmak između šipki)

K_R - koeficijent kontrakcije

Broj otvora na rešetki zavisi od širine kanala - $B=0.40$ m, razmaka između šipki - $b=0.02$ m i debljine šipke rešetke - $\delta=0.01$ m.

Za usvojene vrednosti broj šipki iznosi:

$$n = \frac{B}{\delta + b} = \frac{0.40}{0.01 + 0.02} = 13$$

Pri određivanju hidrauličkog gubitka na rešetki polazi se od maksimalnog proticaja kroz rešetku.

$$Q_{\max}^h = v_2 \cdot h_2 \cdot n \cdot b \cdot K_R$$

$K_R=0.82$ - koeficijent kontrakcije

$$v_2 \cdot h_2 = \frac{0.029}{13 \cdot 0.02 \cdot 0.82} = 0.136$$

$$v_2 \cdot h_2 = (A)$$

Jednačina za hidraulički gubitak na rešetki iznosi:

$$\Delta h = \xi_R \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \quad 3.$$

$$\xi_R = \beta \cdot (\delta / b)^{4/3} \cdot K \cdot \sin \theta$$

β - koeficijent zavistan od oblika poprečnog preseka šipki rešetke (2.42 i prav ugao)

δ - debljina šipke

b - razmak između šipki

K - koeficijent začepljenja rešetke ($K=3$)

θ - ugao nagiba rešetke prema horizontali ($60-90^\circ$)

Iz jednačina (1), (2) i (3) dobijaju se: brzina proticaja - v_2 , visina sloja - h_2 iza lučne rešetke, kao i hidraulički gubitak na lučnoj rešetki - Δh .

1) Transformisana jednačina (1)

$$\Delta h = h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} - h_1 - \frac{v_1^2}{2 \cdot g}$$

$h_1=h_N=0.24$ m - normalna dubina kanala

$$v_1 \text{ (m / s)} = \frac{Q_{\max}^h}{A_1} = \frac{0.029}{0.40 \cdot 0.24} = 0.30$$

$$\Delta h = h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} - 0.24 - \frac{0.30^2}{2 \cdot g}$$

$$(B) = 0.24 + \frac{0.30^2}{2 \cdot g} = 0.2446$$

$$\Delta h = h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} - (B) \quad 1'$$

2) Transformisana jednačina (2)

$$v_2 \cdot h_2 = (A) \quad 2'$$

3) Transformisana jednačina (3)

$$\Delta h = \xi_R \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g}$$

$$\xi_R = \beta \cdot (\delta / b)^{4/3} \cdot 3 \cdot \sin(90) = 2.42 \cdot (0.01 / 0.02)^{4/3} \cdot 3 \cdot 1 = (C) = 2.881$$

$$\Delta h = (C) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \quad 3'$$

Zamenom jednačina (3') u (1') dobijaju se relacije:

$$(C) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = h + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = h_2 - (B)$$

$$[(C) - 1] \cdot \frac{v_2^2}{2g} = h_2 - (B)$$

Zamenom vrednosti h_2 iz jednačine (2') u gornjoj relaciji dobijaju se tražene vrednosti v_2 , h_2 i Δh .

$$h_2 = \frac{(A)}{v_2}$$

$$(C_1) = (C) - 1 = 2.881 - 1 = 1.881$$

$$(C_1) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = \frac{(A)}{v_2} - (B)$$

$$(C_1) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} - \frac{(A)}{v_2} + (B) = 0$$

Zamenom poznatih vrednosti za (C_1) , (A) i (B) u navedenom izrazu dobija se:

$$v_2 = 0.50 \text{ m/s}$$

Zamenom dobijene vrednosti za v_2 u jednačini (2') dobija se:

$$h_2 = 0.27 \text{ m}$$

Na kraju, zamenom svih vrednosti u izrazu (1'), ili (3'), dobija se traženi hidraulički gubitak na lučnoj rešetki:

$$\Delta h = 0.05 \text{ m}$$

Kota nivoa vode u kanalu iza crpne stanice iznosi:

$$\nabla\text{CS} = \nabla\text{PESK} + \Delta h = \nabla\text{PESK} + 0.05 \text{ m}$$

$$\nabla\text{CS} = \nabla\text{R} + 1.00 \text{ m}$$

– **Raspodela kota na liniji vode**

Kada se za relativnu kotu ± 0.00 usvoji kota na koju je potrebno prepumpati vodu na ulazu u postrojenje, tada se dobija sledeća raspodela kota objekata i postrojenja:

referentna kota (kanal iza crpne stanice):	$\nabla\text{CS} = (+1.00)$	$\Rightarrow \pm 0.00 \text{ m}$
kota peskolova:	$\nabla\text{PESK} = (+0.95)$	$\Rightarrow - 0.05 \text{ m}$
kota mernog kanala:	$\nabla\text{MK} = (+0.94)$	$\Rightarrow - 0.06 \text{ m}$
kota razdelnog šahta:	$\nabla\text{RŠ} = (+0.87)$	$\Rightarrow - 0.13 \text{ m}$
kota bioloških bazena:	$\nabla\text{BB} = (+0.56)$	$\Rightarrow - 0.44 \text{ m}$
kota prelivnog šahta bioloških bazena:	$\nabla\text{PŠBB} = (+0.15)$	$\Rightarrow - 0.85 \text{ m}$
kota centralne građevine naknadnog taložnika:	$\nabla\text{CGNT} = (+0.13)$	$\Rightarrow - 0.78 \text{ m}$
kota naknadnih taložnika:	$\nabla\text{NT} = (+0.12)$	$\Rightarrow - 0.88 \text{ m}$
kota obodnog kanala naknadnog taložnika:	$\nabla\text{K} = (\pm 0.00)$	$\Rightarrow - 1.00 \text{ m}$

3.2.3. Hidraulički proračun po liniji mulja

1) Prema hidrauličkom proračunu po liniji vode je dobijeno da je kota u centralnoj građevini naknadnog taložnika:

$$\nabla\text{CGNT} = - 0.87 \text{ m}$$

2) Kota u muljnoj crpnoj stanici iznosi:

$$\nabla\text{MCS} = \nabla\text{CGNT} - \Delta h$$

Mulj gravitaciono dolazi u muljnu crpnu stanicu cevovodom $\varnothing 300$ pa se dobije veoma mali, odnosno zanemarljiv hidraulički gubitak ($\Delta h \cong 0$) pa je na osnovu toga:

$$\nabla\text{MCS} = \nabla\text{CGNT} = - 0.87 \text{ m}$$

3) Kota u silosu za mulj (maksimalna kota cevovoda kojim muljna pumpa potiskuje mulj u silos) iznosi:

$$\nabla\text{SM} = 2.00 \text{ m}$$

4) Kota u poljima za sušenje mulja iznosi:

$$\nabla\text{PSM} = -1.53 \text{ m}$$

4. SREDNJA POSTROJENJA

4.1. Tehničko-tehnološko rešenje postrojenja

Postrojenja za tretman komunalnih otpadnih voda, hidrauličkih opterećenja u opsegu od 10 000 - 30 000 ES, mogu se primenjivati za manji broj naselja, gradskih zajednica sa srednje razvijenim industrijskim pogonima, ali sa većim procentom stanovništva (4% naselja u Srbiji, 20% stanovništva).

Za navedene hidrauličke kapacitete, postrojenje mora biti značajno fleksibilno, pošto oscilacije hidrauličkog opterećenja, a posebno organskog opterećenja, mogu biti značajne, pa čak i u okviru vremenske odrednice od jedne dekade.

Stoga je naročito značajna postavka postrojenja kao dve paralelne linije od po polovine kapaciteta.

Za ovako postavljenu problematiku mulja se mora postaviti značajno fleksibilna tehnologija, pa je rešenje sa aerobnom stabilizacijom mulja u bioaeracionom procesu obrade, tokom postupka produžene aeracije ("extended aeration"), sa povratnim muljem visoko povoljno za naše uslove. Ovaj tip stabilizacije mulja omogućava da se dalji tretman može svoditi isključivo na fizičke postupke, koji se lako regulišu i podnose visoke oscilacije u kvantitetu.

Ovakav koncept prečišćavanja otpadnih voda se pokazao kao veoma pogodan u praksi iz razloga što je u mogućnosti da prati "udare" opterećenja bez dogradnje novih objekata i ugradnje nove opreme. Takođe je veoma fleksibilan u pogledu proširenja kapaciteta uređaja u koliko se prilikom eksploatacije ukaže potreba, odnosno u koliko planirani kapacitet nije u stanju da podmiri novonastale potrebe.

4.1.1. Linija vode

Aerobni tretman otpadne vode se vrši u jedinstvenom sistemu otpadne vode, odnosno nema odvajanja linija vode i mulja, tako da se pod aerobnim uslovima prečišćavaju zajedno otpadna voda i primarni mulj, bioaeracionim tretmanom sa aktivnim muljem. Istovremeno sa tretmanom otpadne vode, vrši se i aerobna stabilizacija mase kombinovanog mulja u istom bioaeracionom bazenu. Iz bioaeracionog bazena izlazi smeša tretirane otpadne vode i aerobno stabilizovanog mulja.

Operacije, koje se koriste za zajednički tretman otpadne vode i mulja, koje spadaju u liniju vode, su:

- dovođenje vode na hidraulički definisanu kotu koja omogućava dalje gravitaciono tečenje
- mehanička separacija rešetkama
- gravitaciona separacija peska u aerisanim peskolovima
- separacija masti i ulja u peskolovu
- aerobni tretman sa aktivnim muljem u bioaeracionom bazenu sa povratnim muljem, tehnologijom produžene aeracije
- gravitaciona separacija tretirane vode i mulja u mehaničkom dekanteru

Posle aerobne stabilizacije u bioaeracionom tretmanu, razdeljuju se faze na liniju vode i liniju mulja, kako bi se nezavisno upravljalo tretmanom vode i tretmanom otpadnog mulja.

Linija vode kod postrojenja svih kapaciteta je uniformna i bazira na tehnologiji aerobne obrade aktivnim muljem tipa produžene aeracije, sa povratnim muljem. Pored navedenih operacija, u liniju vode se postavlja još i izlivna građevina za upuštanje tretirane otpadne vode u odabrani recipijent.

4.1.2. Linija mulja

Linija mulja je potpuno nezavisna od hidrauličkih kapaciteta postrojenja.
Za hidrauličko opterećenje > 10 000 ES linija mulja sadrži sledeće operacije:

- crpna stanica za višak mulja
- gravitaciono ugušćavanje u muljnom ugušćivaču - silosu
- hemijsko kondicioniranje ugušćenog mulja doziranjem polielektrolita
- dehidracija mulja mehaničkim filter presama
- evakuacija presovanog mulja

4.1.3. Tehnologija prečišćavanja

Otpadna voda se dovodi na hidraulički definisanu kotu koja omogućava gravitacioni protok vode kroz sve objekte na postrojenju.

U slučaju da otpadna voda na postrojenje dolazi gravitaciono, na njegovom ulazu treba postaviti crpnu stanicu za primarno dizanje sa pužnim pumpama, dok u slučaju dovođenja otpadne vode kanalizacionim kolektorom pod pritiskom nije potrebno koristiti pumpe, ukoliko je pritisak dovoljan za podizanje otpadne vode na definisanu hidrauličku kotu za dalje gravitaciono tečenje, a voda iz kanalizacije dotiče u sabirni bazen na ulazu u postrojenje.

Iz crpne stanice za primarno dizanje vode na postrojenje, odnosno iz sabirnog šahta u slučaju potisnog dovodnog kanalizacionog kolektora, otpadna voda odlazi na automatsku rešetku i nakon uklanjanja grubih mehaničkih nečistoća otpadna voda ulazi u kružni peskolov. U peskolovu se istaložavaju mineralne lako taložljive supstance (inertno taloženje), a otpadna voda centralnog preliva se izvodi iz peskolova.

Preko bočnog preliva se evakuše plivajuća materija, ulja, masti i specifično lakše supstance, koje se sakupljaju u šahti za masti i ulja.

Mehanički prečišćena voda izlazi iz peskolova i prolazi kroz merni kanal Venturijevog tipa koji leži duž glavne ose postrojenja i vodi do razdelnog šahta.

Od razdelnog šahta otpadna voda se deli na dva dela ($1/2 Q + 1/2 Q$) i odlazi u kombinovane objekte, bioeracione bazene i naknadne taložnike, gde se vrše biološki procesi prečišćavanja. Bioeracija se vrši mamut rotorima koji su montirani na površini bioeracionog bazena, po dva mamut rotora na svaki bioeracioni bazen. U biološkom delu postrojenja se vrši razgradnja rastvorenih organskih materija metodom sa aktivnim muljem, u vremenu i sa količinom kiseonika koja je potrebna za aerobnu stabilizaciju izreagovalog aktivnog mulja.

Istaloženi mulj sa dna naknadnih taložnika gravitaciono otiče do crpne stanice za recirkulaciju mulja odakle se prepumpava, prolazeći kroz šaht za regulaciju mulja, ili nazad u proces do razdelnog šahta ili u silos za mulj.

U silosu za mulj, gravitacionom zgušnjivaču, mulj odležava jedan određeni period (oko 2 dana), a zatim se kroz muljnu šahtu silosa za mulj vrši evakuacija ugušćenog mulja mono pumpama, koje mulj iz muljne šahte prebacuju na trakaste filter prese, na kojima se vrši ceđenje ugušćenog mulja. U masu mulja, neposredno pre doziranja u trakastu filter presu, dodaje se, prethodno pripremljeni, polielektrolit pomoću dozirnih pumpi.

Za dehidraciju mulja na trakastim filter presama predviđen je zatvoreni objekat u koji se smešta trakasta filter presa. Dehidrirani mulj iz kontejnera se nakon dehidracije na trakastim presama odvozi na deponiju za to predviđenu, a može se koristiti i kao đubrivo dok se procedna voda vraća natrag na tretman u šaht gde se nalaze pumpe za mulj.

Zbog ekonomičnosti eksploatacije, postrojenje treba izvesti na nasutom platou tako da se prečišćena voda iz naknadnog taložnika gravitaciono dovodi do izlivne građevine (ukoliko konfiguracija terana na lokaciji postrojenja to dozvoljava).

Sve nadmuljne vode, kao i upotrebljene vode iz upravno-pogonske zgrade, radionice i slično, takođe se prečišćavaju na ovom postrojenju tako da se cevovodom interne kanalizacije na postrojenju odvede do crpne stanice za primarno dizanje otpadne vode.

Proračun za oba kapaciteta, 10 000 ES i 30 000 ES, koji se prezentira u daljem tekstu, postavlja se za sistem kanalizacije pod pritiskom, tako da se iz kanalizacionog kolektora pod pritiskom otpadna voda podiže na potrebni početni hidraulički nivo (radni nivo), što je jedno od mogućih rešenja postavljanja kanalizacionih kolektora.

To znači da u proračunu za 10 000 ES i 30 000 ES ne figurišu pumpe (pužne pumpe) za primarno dizanje otpadne vode na početak procesa prečišćavanja.

Ukoliko se zbog tipa dovodnog kanalizacionog kolektora ne može primeniti ovakav sistem, dodavanje potrebnog hidrauličkog proračuna za postavljanje pužne pumpe se može izvršiti prema istom principu kao kod proračuna za 2 500 ES i 5 000 ES.

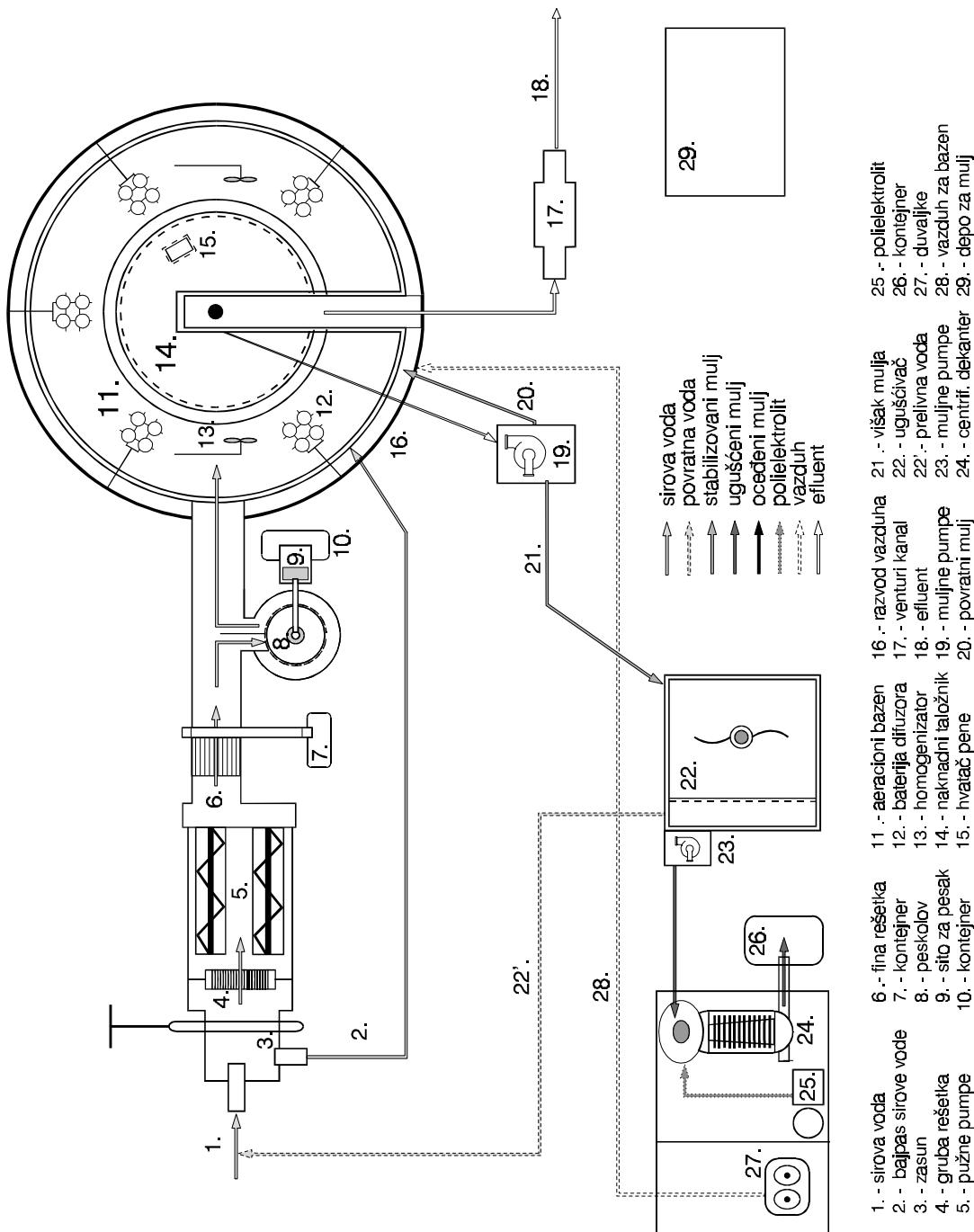
Unos kiseonika u bioaeracioni bazen se može vršiti na više načina. Danas se može smatrati da su dva najpouzdanija metoda:

- unos kiseonika potopljenim mamut rotorima - "četkama"
- unos kiseonika potopljenim difuzorima - baterije "tepih" difuzora

Kao do sada u ovoj publikaciji kompletni proračuni će biti urađeni za, do sada pouzdanije i više ispitane mamut rotore, mada nova tehnička rešenja potopljenih difuzora daju mogućnost i njihovog efikasnijeg korišćenja u navedenim postrojenjima.

Blok šema postrojenje za opterećenja od 10 000 - 30 000 ES je data na slici 27. Kako je proračun rađen za postrojenja sa rotorima za uduvanje vazduha, na slici 27 je alternativna šema postrojenja sa potopljenim difuzorima. Jasno se vidi da razlika postoji samo u načinu aeracije. Na prezentiranoj šemi prikazanoj na slici 4.1. je dato postrojenje sa pumpama za primarno dizanje.

Slika 27 - Linija za prečišćavanje otpadnih voda sa mehaničkim tretmanom mulja (za hidrauličko opterećenje u opsegu od 10 000 - 30 000 ES)



4.2. POSTROJENJE KAPACITETA OD 10 000 ES

– Hidrauličko opterećenje postrojenja

Hidrauličko opterećenje postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, za kapacitet od 10 000 ES, preračunava se iz sledećih relacija:

- broj ekvivalentnih stanovnika: $N_{ES} = 10\,000$ ES
- norma otpadnih voda: $q = 250$ l/ES na dan
- srednje dnevno hidrauličko opterećenje se preračunava iz relacije:

$$Q_{sr}^d = N_{ES} \cdot q = 10000 \cdot 0.25 = 2500 \text{ m}^3 \text{ na dan} = 104.2 \text{ m}^3 / \text{h} = 28.94 \text{ l/s}$$

- usvaja se koeficijent neravnomernosti: $K_{op} = 1.90$
- maksimalno časovno hidrauličko opterećenje se određuje iz relacije:

$$Q_{max}^h = Q_{sr}^d \cdot K_{op} = 2500 \cdot 1.9 = 4750 \text{ m}^3 \text{ na dan} = 198 \text{ m}^3 / \text{h} = 55 \text{ l/s}$$

Usvaja se maksimalno hidrauličko opterećenje od: $Q_{max}^h = 55$ l/s

– Biološko opterećenje postrojenja

Biološko opterećenje postrojenja za prečišćavanje upotrebljenih voda, za kapacitet od 10 000 ES, izračunava se na osnovu specifičnog biološkog opterećenja izraženog preko biološke potrošnje kiseonika (BPK_5) po ekvivalentnom stanovniku na dan:

$$b = 70 \text{ g O}_2(\text{BPK}_5) \text{ po ES na dan}$$

Na taj način, izračunava se biološko opterećenje postrojenja iz relacije:

$$B(\text{kgBPK}_5 \text{ na dan}) = N_{ES} \cdot b = 10000 \cdot 0.07 = 700$$

– Osnovni parametri i šema postupka

Osnovni parametar prilikom izbora tehnološke šeme prečišćavanja otpadnih voda je zahtevani kvalitet finalnog efluenta pre upuštanja u recipijent. Uobičajeno se prečišćene otpadne vode iz gradskih postrojenja smeju ispuštati u recipijent pod sledećim parametrima kvaliteta:

- $C_{BPK_5} = 2.5$ mgO₂/l (bez nitrifikacije), uz minimalan stepen redukcije 70-90%
- $C_{HPK} = 12.5$ mgO₂/l, uz minimalan stepen redukcije 75%
- $C_{susp. materije} = 35$ mg/l, uz minimalan stepen redukcije 90%

Za postrojenja za prečišćavanje upotrebljenih voda kapaciteta 10 000 E.S., koje inače spada u srednje uređaje, najprikladniji način prerade je "extended aeration" (produžena aeracija) sa istovremenom stabilizacijom mulja.

Ovakav koncept prečišćavanja otpadnih voda se pokazao kao veoma pogodan u praksi iz razloga što je u mogućnosti da prati "udare" opterećenja bez dogradnje novih objekata i ugradnje nove opreme. Takođe je veoma fleksibilan u pogledu proširenja kapaciteta uređaja u koliko se prilikom eksploatacije ukaže potreba, odnosno ukoliko planirani kapacitet nije u stanju da podmiri novonastale potrebe.

Navedeni proces prečišćavanja se sastoji od mehaničko-biološkog procesa pri čemu se u mehaničkom delu posle primarnog dizanja otpadnih voda, iz istih na automatskoj rešetki

otklanjaju preostali čvrsti otpatci određenog prečnika (većeg od svetlog otvora rešetke), a zatim u peskolovu vrši istaložavanje peska i ostalih lakotaložljivih materija. U biološkom delu postrojenja se vrši razgradnja rastvorenih organskih materija metodom sa aktivnim muljem uz aerobnu stabilizaciju istog.

Istaloženi mulj se zgrće na dnu naknadnog taložnika i odatle cevovodom transportuje do šahta gde se nalaze potopljene muljne pumpe pomoću kojih se vrši recirkulacija aktivnog mulja i prebacivanje viška mulja na dalji tretman u silos mulja. Naime, kada se u toku rada postrojenja konstatuje višak aktivnog mulja, tada se manipulacijom ventilima taj mulj evakuše u objekat za zgušnjavanje mulja gde odležava jedan određeni period. Pri tome se nadmuljna voda vraća nazad u proces, a ugušćeni mulj gravitaciono dovodi na filter presu. Nakon dehidratacije mulj se odvozi na deponiju ili se koristi kao proizvodno visokovredno đubrivo.

Tehnološka šema uređaja sastoji se iz sledećih celina:

- sabirni šaht,
- automatska rešetka,
- aerisani peskolov,
- merni objekat,
- aeracija sa istovremenom aerobnom stabilizacijom mulja,
- naknadni taložnik,
- recirkulacija mulja,
- zgušnjavanje mulja,
- dehidratacija mulja.

Posmatrano prema liniji vode, odnosno prema liniji mulja, može se izvršiti podela objekata kako sledi i to:

Linija vode:

- sabirni šaht,
- automatska rešetka,
- aerisani peskolov,
- venturijev merni kanal,
- bioaeracioni bazen,
- naknadni taložnik.

Linija mulja:

- crpna stanica za recirkulaciju mulja,
- zgušnjivač mulja,
- filter presa.

Ostali objekti:

- upravno-pogonska zgrada,
- vodovodna mreža u krugu objekta,
- objekti neposredne sanitarne zaštite (žičana ograda i tabla upozorenja),
- zelene površine u krugu objekta.

Na ovom mestu potrebno je naglasiti da je deo postrojenja za biološki tretman i taloženje aktivnog mulja izveden u vidu mono bloka, pa iz tih razloga zauzima značajno manje prostora u odnosu na nekompaktno projektovane sisteme, odnosno sisteme kod kojih su bioaeracioni bazen i naknadni taložnik predviđeni kao razdvojene, konstruktivno nezavisne celine.

4.2.1. Dimenzionisanje objekata

Prilikom izbora opreme postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, kao jedan od osnovnih polaznih kriterijuma je taj da se kompletna oprema za sve objekte odabere u okvirima domaće proizvodnje. Analizom ponuđenih proizvodnih programa domaćih proizvođača, a u cilju obezbeđenja sigurnog pogona sa mogućnošću ispunjenja svih postavljenih uslova za kvalitetom finalnog efluenta, predlaže se izbor hidromašinske opreme prema specijalizovanim proizvodnim programima proizvođača "Eko-Vodo Inženjering" iz Beograda, "Jastrebac" iz Niša i "Sever" iz Subotice, a sva izabrana oprema je saglasna sa standardima evropskih proizvođača (Passavant Werke).

4.2.1.1. Linija vode

– Sabirni šaht za upotrebljenu vodu

Na kraju potisnog kanalizacionog kolektora, na ulazu u postrojenje, voda dolazi na potrebnu kotu, ulazi u sabirni šaht, a odatle voda gravitaciono teče kroz sve objekte postrojenja.

U sabirni šaht dolazi maksimalno opterećenje koje iznosi: $Q_{\max} \approx 55.0$ l/s.

– Automatska rešetka

Kao prvi objekat predtretmana, prema prethodno priloženoj tehnološkoj šemi, predviđena je automatska rešetka. U današnje vreme izražena je tendencija izgradnje postrojenja za prečišćavanje upotrebljenih voda sa što većim efektom predtretmana. Naime, čest je slučaj u praksi, da se realizuju samo mehanički delovi sistema za prečišćavanje, tako da je potrebno postići što efikasniji predtretman radi zaštite recipijenta, a i sa povećanjem stepena mehaničkog predtretmana dolazi do sniženja organskog opterećenja biološkog stepena obrade, što dovodi kako do smanjenja gabarita tih objekata, tako i do snižavanja energetske troškova. U slučaju da dođe do začepljenja rešetke ili zastoja u radu, tada otpadna voda teče zaobilaznim kanalom, "bypass" - om, preko ravne rešetke sa ručnim čišćenjem. Sakupljeni otpad se sa automatske rešetke odbacuje u kontejner koji se odvozi na gradsku deponiju.

Predlaže se usvajanje lučne rešetke koja se radi po ugledu na rešetku "Unioninvest", po licenci "Passavant Werke" i ugrađuje u kanal pravougaonog poprečnog preseka sledećih karakteristika:

— širina kanala:	B = 40 cm
— ukupna visina kanala:	H = 80 cm

Karakteristike "bypass" kanala su sledeće:

— širina "bypass" kanala:	B = 40 cm
— ukupna visina "bypass" kanala:	H = 80 cm.

– Peskolov

Za izdvajanje težih, uglavnom mineralnih sastojaka kao što je pesak, iz otpadnih voda, u okviru predložene tehnologije prečišćavanja predviđena je izgradnja taložnika za pesak, odnosno peskolova, koji se u principu locira na svim postrojenjima, bez obzira što se u ovom slučaju ne radi o opštem već o separacionom sistemu kanaliziranja naselja. Peskolov funkcioniše na principu smirivanja toka vode, ali samo toliko da se omogući taloženje specifično težih čestica peska. Da bi se održala stalna brzina vode u peskolovu, treba predvideti ugradnju mešalice koja se

okreće konstantnom brzinom i održava stalnu brzinu vode, čime je sprečeno taloženje organskih materija.

Istaloženi mineralni materijal se iz peskolova evakuše mamut pumpom u procedni šaht neposredno pored peskolova. Voda se vraća nazad u proces, a pesak odvozi na deponiju.

Usvaja se da vreme zadržavanja (retenzije), za $Q_{\max} = 198 \text{ m}^3/\text{h}$, iznosi $t = 6 \text{ min}$.

Na taj način, potrebna korisna zapremina peskolova za maksimalno časovno optrećenje iznosi:

$$V (\text{m}^3) = \frac{t \cdot Q_{\max}^h}{60} = \frac{Q_{\max}^h}{10} = \frac{198}{10} = 19.8$$

Predlaže se kružni peskolov tipa "Pista" po ugledu na peskolov "Unioninvest", po licenci "Passavant - Werke" tip 5-42. Karakteristike peskolova su:

- prečnik peskolova: $D_p = 4.2 \text{ m}$
- korisna zapremina peskolova: $V_p = 22 \text{ m}^3$
- vreme zadržavanja: $t = 6.67 \text{ min}$

– Merni kanal

Nakon prolaska kroz peskolov, a pre raspodele i odlaska ka bioaeracionim bazenima voda prolazi kroz merni uređaj za merenje proticaja tipa Venturi, kapaciteta do 55 l/s.

– Bioaeracioni bazen

U procesu obrade otpadnih voda biološkim prečišćavanjem teži se da se u što većoj meri iz influenta uklone biološki razgradljive organske materije čime se postiže sniženje BPK zagađenih voda.

Kod procesa sa aktivnim muljem kontaktna površina za prenos kiseonika se ostvaruje preko formirane mase pahuljica mulja - aktivnog mulja. Kiseonik se unosi uduvavanjem vazduha ili mehaničkom izmenom mase otpadne vode u neposrednom kontaktu sa vazduhom. Organska materija u otpadnoj vodi služi kao hrana-energent mikroorganizmima, najčešće bakterijama, u aktivnom mulju.

Ekstracelularnom razgradnjom složenih organskih materija u aerobnim uslovima nastaju nižemolekulske organske materije, koje se mogu transportovati unutar ćelija bakterija. Unutar ćelija dolazi do intracelularne razgradnje nižemolekulskih organskih materija pod dejstvom enzima. Ovom prilikom se oslobađa energija, koja se koristi najvećim delom za metaboličke procese ćelija, a manjim delom se odaje u okolnu sredinu. Od ostataka organskih materija, koje čine gradivne jedinice, kao i od oslobođene energije, kojom se formiraju energetske gradivne jedinice, dolazi do nastajanja nove biomase u aktivnom mulju. Takođe, mineralizovani deo ostataka organskih materija se zadržava u pahuljama aktivnog mulja. Sve ovo čini da aktivni mulj postaje teži, pa gravitaciono brže tone.

Deo ćelija u aktivnom mulju sa vremenom odumire. Njihova biomasa služi kao hrana živim ćelijama aktivnog mulja, a mineralizovani ostaci mrtvih ćelija uvećavaju masu pahulje aktivnog mulja.

Posle određenog vremena broj aktivnih ćelija u pahulji u odnosu na masu pahulje toliko padne, da pahulja više nema efikasnost potrebnu za biohemijske i metaboličke procese u razgradnji organskih materija iz otpadne vode. Ovako degradirane pahulje treba evakuisati iz otpadne vode, kako bi se forsirale sveže formirane i visoko aktivne pahulje mulja. "Stare" izreagovale pahulje mulja su gravitaciono teže od svežih pahulja, te se mogu međusobno razdvajati gravitaciono.

Tokom metaboličkih procesa aktivni mulj prolazi kroz dve faze: faze izgradnje ćelija (nastajanje nove biomase) i faze razgradnje ćelija (odumiranje izreagovane biomase), koje se odvijaju istovremeno, u okviru bioaeracionog bazena, a izdvajanje aktivnog mulja iz otpadne vode se vrši gravitaciono u naknadnom taložniku.

Mešavina zagađene vode (influenta) i aktivnog mulja iz bioaeracionog bazena neprestano otiče u naknadni taložnik radi gravitacionog izdvajanja biomase aktivnog mulja. Iz naknadnog taložnika prečišćena voda (efluent) odlazi prema daljem tretmanu. Istaložene pahuljice mulja neprekidno se vraćaju u bioaeracioni bazen radi mešanja sa novom količinom zagađene vode.

Aktivni mulj mora da se održava u suspenziji u toku kontakta sa zagađenom vodom koja se prečišćava, stalnom agitacijom - kretanjem influenta, tako da se postupak sastoji od sledećih operacija:

- mešanje influenta sa zagađenom vodom koja se prerađuje,
- aeracija i agitacija ove mešavine za potreban vremenski period, u bioaeracionom bazenu,
- odvajanje - separacija aktivnog mulja iz mešavine, u sekundarnom taložniku,
- vraćanje odgovarajuće količine aktivnog mulja (povratni mulj) u cilju ponovnog mešanja sa influentom,
- odstranjivanje i dispozicija viška aktivnog mulja.

U bioaeracionom bazenu se vrši transformacija organskih materija u energiju i živu materiju (biocenu) mikroorganizama - aktivni mulj koji se izdvaja taloženjem u sekundarnom taložniku, odakle se veći deo recirkuliše do bioaeracionog bazena i meša uz intenzivnu aeraciju sa influentom, dok se drugi, manji deo aktivnog mulja, kao višak, šalje na dalji tretman mulja.

Kako je objašnjeno u prethodnim poglavljima ovog projekta, zahtevani kvalitet finalnog efluenta može se postići tzv. postupkom produžene aeracije. Naime, trajanje aeracije se tada uzima od 18-36 h, posmatrano za srednje dnevne količine otpadnih voda.

Dimenzionisanje bioaeracionog bazena izvršeno je na sledeći način:

- hidrauličko opterećenje iznosi: $Q_{sr}^d = 29 \text{ l/s} = 2500 \text{ m}^3 \text{ na dan} = 104.20 \text{ m}^3 / \text{h}$
- biološko opterećenje influenta iznosi: $B = 700 \text{ kg BPK}_5 / \text{dan} = 29.17 \text{ kg BPK}_5 / \text{h}$
- koncentracija BPK₅ u sirovoj vodi iznosi: $C_{BPK5,inf} = 280 \text{ mg/l}$
- zahtevana koncentracija BPK₅ u finalnom efluentu iznosi: $C_{BPK5,dovz} = 25 \text{ mg/l}$
- potrebno biološko opterećenje bioaeracionog bazena za produženu aeraciju po jedinici zapremine bazena kreće se u granicama od 0.1-0.4 kgBPK₅/m³·dan, pa se usvaja: $B_v = 0.25 \text{ kgBPK}_5 / \text{m}^3 \cdot \text{dan}$
- obzirom da se u procesu predtretmana, na rešetkama, odstranjuje 10% od ukupnog opterećenja, dobija se potrebna zapremina bioaeracionog bazena:

$$V_{BB} (\text{m}^3) = \frac{0.9 \cdot Q_{sr}^d}{B_v} = \frac{0.9 \cdot 700}{0.25} = 2520$$

Kako je već više puta navedeno u prethodnom tekstu, radi ispravnog funkcionisanja postrojenja, odnosno biološkog prečišćavanja, bioaeracioni bazen se mora "razbiti" na više manjih jedinica, kako bi se zadržala fleksibilnost u radu, odnosno kako bi se bez problema pratile različite količine otpadnih voda koje dotiču na postrojenje i kako bi se nesmetano primali, kako "udari", tako i minimalni doticaji. Iz tih razloga usvojeno je da se izvrši podele na dva bioaeraciona bazena

sa naknadnim taložnicima, koji će, uz ostale objekte, garantovati zahtevani kvalitet finalnog efluenta.

Usvajaju se dva bioaeracionih bazena zapremina od po $V_B = 1\,260\text{ m}^3$

Definitivne zapremine, odnosno dimenzije bioaeracionih bazena biće usvojene nakon dimenzionisanja naknadnih taložnika, obzirom da su ovi objekti objedinjeni u "kombinovane objekte" u vidu mono blokova.

Opterećenje mase mulja za proces produžene aeracije kreće se u granicama od 0.05-0.15 kg BPK₅/kg SM na dan.

Usvaja se: $B_{SM} = 0.05\text{ kg BPK}_5/\text{kg SM}$ na dan, na osnovu čega proizilazi da koncentracija suve materije aktivnog mulja u bioaeracionom bazenu iznosi 5 kg/m^3 .

Okvirne granice za koncentraciju suve materije aktivnog mulja za produženu aeraciju iznose od 3-6 kg/m³.

Za potrebe aerobnog tretmana otpadne vode i aerobne stabilizacije mulja postupkom produžene aeracije usvaja se specifična potrošnja kiseonika u visini od: $OC/B_V = 2.5\text{ kg O}_2/\text{kg BPK}_5$, pa je ukupno potreban kiseonik od $72.92\text{ kg O}_2/\text{h}$, odnosno po bazenima $2 \times 36.5\text{ kg O}_2/\text{h}$.

Za svaki bioaeracioni bazen usvajaju se po jedan mamut rotor $\varnothing 1000\text{ mm}$ dužine 6.0 m, sličan tipu KN 110, Passavant. Prilikom dimenzionisanja aeracije pomoću mamut rotora usvaja se da unos kiseonika iznosi $7.0\text{ kg O}_2/\text{h}$ po dužnom metru mamut rotora pri uronu lopatica od 22 cm. Dužinom od 6 metara postizemo unos kiseonika od $42\text{ kg O}_2/\text{h}$.

Prema dijagramu proizvođača i sračunatoj potrebnoj količini kiseonika za aeraciju od $36.5\text{ kg O}_2/\text{h}$, za postavljene mamut rotore dubina urona lopatica iznosi oko 19 cm. Dubina urona lopatica se reguliše na regulacionom prelivu, odnosno regulacijom nivoa vode u bioaeracionom bazenu.

– Naknadni taložnik

Za separaciju biološkog mulja iz tretirane vode, nakon njenog izlaska iz bioaeracionog bazena, predviđa se gravitacioni postupak u naknadnom taložniku. Suština procesa sa aktivnim muljem je da se deo izdvojenog mulja iz naknadnog taložnika (povratni mulj) kontinuirano vraća u bioaeracioni bazen. Višak izdvojenog mulja iz naknadnog taložnika se mora ukloniti pre nego što se potpuno izgubi njegova aktivnost, odnosno pre uginuća aerobnih mikroorganizama na dnu sekundarnog taložnika usled nedostatka kiseonika.

Dimenzionisanje naknadnog taložnika u postupku produžene aeracije vrši se prema hidrauličkom opterećenju površine, koje se prosečno kreće u granicama od 8-16 m³/m²·dan, odnosno maksimalno u granicama od 24-32 m³/m²·dan, kao i opterećenju površine muljem koje se prosečno kreće u granicama od 1-5 kg/m²·h, odnosno maksimalno od 7 kg/m²·h.

Obračun za naknadni taložnik se vrši za prosečno dnevno opterećenje za 18 sati:

$$Q_{18} (\text{m}^3 / \text{h}) = Q_{sr}^d \cdot \frac{24}{18} = 104.4 \cdot \frac{24}{18} = 138.68$$

Kako se radi o dve jedinice, prosečno dnevno opterećenje Q_{18} po jedinici iznosi $2 \times 69.34\text{ m}^3/\text{h}$.

Hidrauličko opterećenje bioaeracionog bazena otpadnom vodom za dve jedinice iznosi $2 \times 69.34\text{ m}^3/\text{h}$. Koncentracija suve materije mulja u bioaeracionom bazenu iznosi 5 kg/m^3 .

Usvaja se maseno opterećenje površine naknadnog taložnika od $5\text{ kg/m}^2\cdot\text{h}$, što odgovara hidrauličkom opterećenju od $1\text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{h}$ ($24\text{ m}^3/\text{m}^2\cdot\text{dan}$). Tako je brzina "proticanja" kroz naknadni taložnik (prelivna brzina) 1.0 m/h , pa se dobija da je ukupna površina naknadnog taložnika 138.68 m^2 , odnosno po $2 \times 69.34\text{ m}^2$.

Taloženje aktivnog mulja spada u takozvani difuzni zavisni, odnosno zonski (usporeni) tip taloženja, koje se definiše po teoriji G.J. Kynch-a. Ovo taloženje karakteriše značajno veća visina prelaznog sloja (zona taloženja), odnosno sloja u kome se vrši razdvajanje tečne i čvrste faze, nego u ostalim slučajevima taloženja.

Minimalna dubina vode u taložniku predstavlja zbir potrebnih minimalnih dubina za zonu zgušnjavanja, zonu razdvajanja faza i zonu čiste vode, odnosno:

$$h_{\min} = h_1 + h_2 + h_3$$

gde su:

$$h_1 = 0.5 \text{ m (obzirom da je indeks mulja: } I_M = 100 \text{ l/kg SM),}$$

$$h_2 = 2.5 \text{ m,}$$

$$h_3 = 0.5 \text{ m,}$$

pa se dobija da je minimalna dubina u taložniku: $h_{\min} = 3.5 \text{ m}$.

Usvajaju se dva naknadna taložnika sledećih dimenzija:

— prečnik:	$D_{NT} = 9.5 \text{ m}$
— dubina:	$h_{NT} = 3.5 \text{ m}$
— površina:	$P_{NT} = 70.9 \text{ m}^2$
— zapremina:	$V_{NT} = 248 \text{ m}^3$
— vreme zadržavanja:	$t = 3.57 \text{ h}$

Prema usvojenim dimenzijama naknadnog taložnika, uz debljinu pregradnog zida od 50 cm, dobijaju se dimenzije "kombinovanog objekta" (bioaeracionog bazena i naknadnog taložnika u vidu mono bloka) kako sledi :

— prečnik naknadnog taložnika :	$D_{NT} = 9.5 \text{ m}$
— dubina vode u naknadnom taložniku:	$h_{NT} = 3.5 \text{ m}$
— širina bioaeracionog bazena:	$B_{BB} = 6.0 \text{ m}$
— dubina vode u bioaeracionom bazenu:	$h_{BB} = 4.0 \text{ m}$

– Izlivna građevina

Iz naknadnog taložnika, prečišćena voda odlazi cevovodima do šahtova, mernog šahta i na kraju do izlivne građevine, locirane uz recipijent.

4.2.1.2. Linija mulja**– Crpna stanica za recirkulaciju mulja**

Količina povratnog recirkulacionog mulja zavisi od recirkulacionog odnosa, odnosno od odnosa sadržaja mulja u bioeracionom bazenu ($SM=5\text{kg/m}^3$), koncentracije povratnog mulja koja se dobija prema indeksu mulja ($I_m=100\text{l/kg SM}$) i koncentracije suve materije ($SM_{RM}=10\text{ kg SM/dan}$).

Tada recirkulacioni odnos iznosi:

$$R O_{RM} = \frac{SM}{SM_{RM} - SM} = \frac{5}{10 - 5} = 1$$

Dobija se da ukupna količina recirkulacionog mulja iznosi: $Q_{RM} \approx 55.0\text{ l/s}$.

Usvaja se crpna stanica šahtnog tipa sa potopljenim muljnim pumpama, sa tri pumpe (dve radne i jedna rezervna) kapaciteta po 30 l/s i visinom dizanja od 10m.

Povratni mulj se potisnim cevovodom vraća u razdelni šaht odakle dalje odlazi ka bioeracionim bazenima ili u silos za mulj u zavisnosti od stanja otvorenosti zatvarača.

– Gravitacioni zgušnjivač mulja - silos za mulj

Tehnologijom produžene aeracije se vrši, pored biološke razgradnje rastvorenih organskih materija i aerobna stabilizacija mulja u bioeracionom bazenu. Stoga se primarni mulj, koji dolazi sa otpadnom vodom, ne izdvaja pre bioeracionih bazena.

Tako iz naknadnih taložnika izlazi kombinovani mulj, aerobno stabilizovani primarni mulj i aktivni mulj.

Višak mulja iz naknadnog taložnika se normira sa 0.2 kgSM/m^3 na dan.

Procenjena količina viška mulja iznosi 665.7 kg na dan.

Koncentracija mulja u naknadnom taložniku u ovakvim postrojenjima se normira na 10 kgSM/m^3 , pa očekivana zapremina viška mulja iznosi 66.6 m^3 na dan.

Radi smanjenja zapremine izdvojenog mulja i povećanja sadržaja suve materije koristi se silos za mulj. Specifično opterećenje silosa za mulj (koncentracija mulja) kreće se od $25\text{--}60\text{ kg SM/m}^2$ na dan u silosu za mulj.

Za usvojeno maseno opterećenje površine silosa 25 kgSM/m^2 na dan, i očekivane količine viška mulja od 665.7 kg na dan potrebna površina zgušnjivača iznosi $P=26.7\text{ m}^2$.

Usvaja se površina zgušnjivača od: $P_s=28\text{ m}^2$.

Usvaja se prečnik silosa od: $D_s= 6\text{ m}$.

Planirano vreme zadržavanja mulja u silosu iznosi 2 dana.

Potrebna zapremina silosa za dvodnevno zadržavanje mulja iznosi: 140 m^3 .

Potrebna visina silosa iznosi: $H_s= 5\text{ m}$.

– **Dehidracija mulja filter presom**

Stabilizovani mulj se iz silosa za mulj dovodi na filter presu za sušenje mulja. Predviđena je ugradnja ukupno dve filter prese (jedna radna+jedana rezervna). Ugrađuju se filter prese tipa PASSAVANT SIBAMAT serija 2 200. U narednoj tabeli date su karakteristike usvojene filter prese.

FILTER PRESA SIBAMAT - SERIJA 2 200	JEDINICA	VELIČINA
ŠIRINA TRAKE FILTER PRESE	mm	2 000
DUŽINA	m	4.0
ŠIRINA	m	2.55
VISINA	m	1.42
TEŽINA	kg	3 100
AKTIVNA DUŽINA TRAKE FILTER PRESE	m	11.9
AKTIVNA POVRŠINA FILTRA	m ²	23.5
KAPACITET FILTRACIJE	l / m ² · h	200-600
KAPACITET MULJA	m ³ / h	5-10-16

Zapremina silosa za mulj iznosi 140 m³. Mulj se može obraditi za 9 časova neprekidnog rada filter prese. Muljne pogače odlažu se u kontejner koji se odnosi na deponiju gde se vrši njegovo finalno odlaganje.

Osim filter prese sastavni deo ovog sistema su i pumpa za mulj "kobasičarka" i posuda za spravljanje i doziranje polielektrolita.

4.2.2. Hidraulički proračun po liniji vode

4.2.2.1. Hidraulički proračun po liniji vode

Ukupne količine otpadnih voda za navedeno postrojenje će biti:

- $Q_{sr}^d = 10\,000 \cdot 250 \text{ l/st na dan} = 2\,500 \text{ m}^3 \text{ na dan} = 29.0 \text{ l/s}$
- $Q_{max}^h = 1.90 \cdot 29.0 = 55.0 \text{ l/s}$
- Usvojen je maksimalni časovni kapacitet $Q_{max}^h = 55.0 \text{ l/s}$.

Hidraulički proračun je sproveden u relativnim kotama, uzimajući za "nultu" kotu (± 0.00) kotu vode u sabirnom bazenu.

– Naknadni taložnik

Hidraulički proračun po liniji vode početak je od obodnog kanala naknadnog taložnika, tako da je sa ∇ -K označena kota vode u obodnom kanalu naknadnog taložnika, što je i početna kota.

$$\begin{aligned} \nabla\text{-NT} & \text{ - kota u naknadnom taložniku} \\ \nabla\text{-NT} & = \nabla\text{-K} + \Delta h \end{aligned}$$

Mora se obezbediti nepotopljeno prelivanje, a za to je dovoljno da nivo donje vode bude niži od krune preliva.

Prema slici 1 hidraulički gubitak na naknadnom taložniku je: $\Delta h = 0.13 + h_p$

Maksimalno očekivana količina vode u obodnom kanalu je:

$$Q_{mer} \text{ (l / s)} = \frac{Q_{max}^h + Q_{rec\ mulja}}{2} = \frac{55.0 + 27.50}{2} = 41.25$$

Prečnik naknadnog taložnika je $D_{NT} = 9.5 \text{ m}$. Dužina prelivne ivice se izračunava iz relacije:

$$B \text{ (m)} = (D_{NT} - 0.5) \cdot \pi = 28.27$$

Maksimalno opterećenje prelivne ivice iznosi:

$$q_p \text{ (l / s} \cdot \text{m')} = \frac{Q_{mer}}{B} = \frac{41.25}{28.27} = 1.46$$

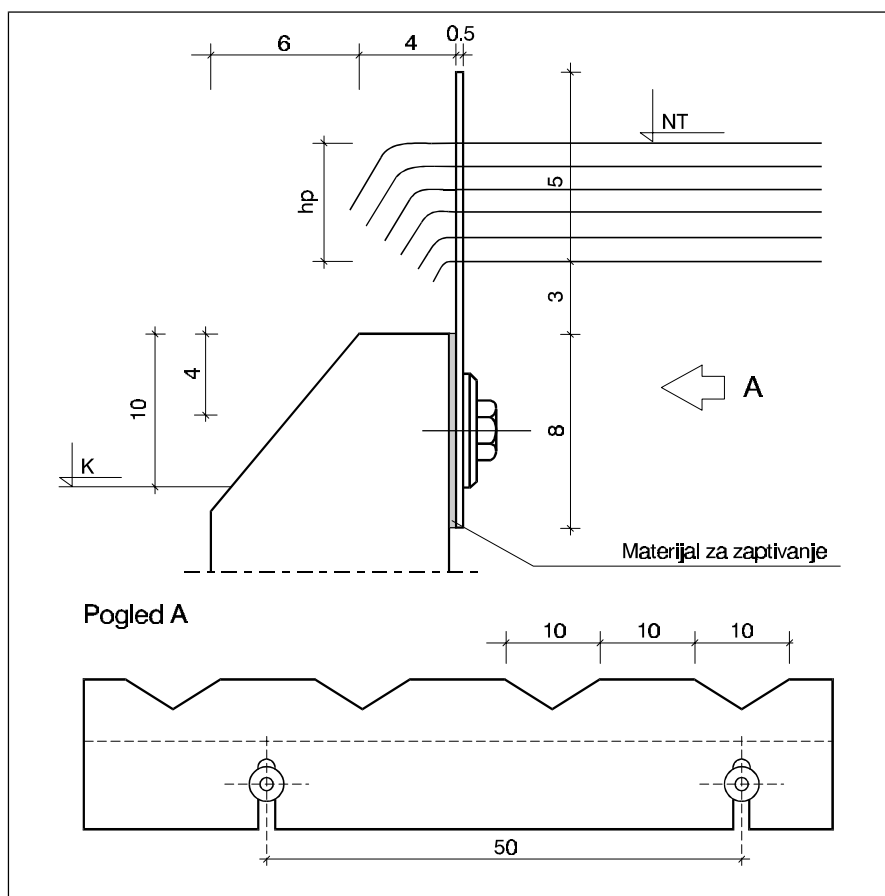
Na osnovu dobijenih vrednosti, prema dijagramu sa slike 2, dobija se visina prelivnog mlaza $h_p = 0.033 \text{ m}$ pa je:

$$\Delta h = 0.13 + 0.033 = 0.163 \text{ m}$$

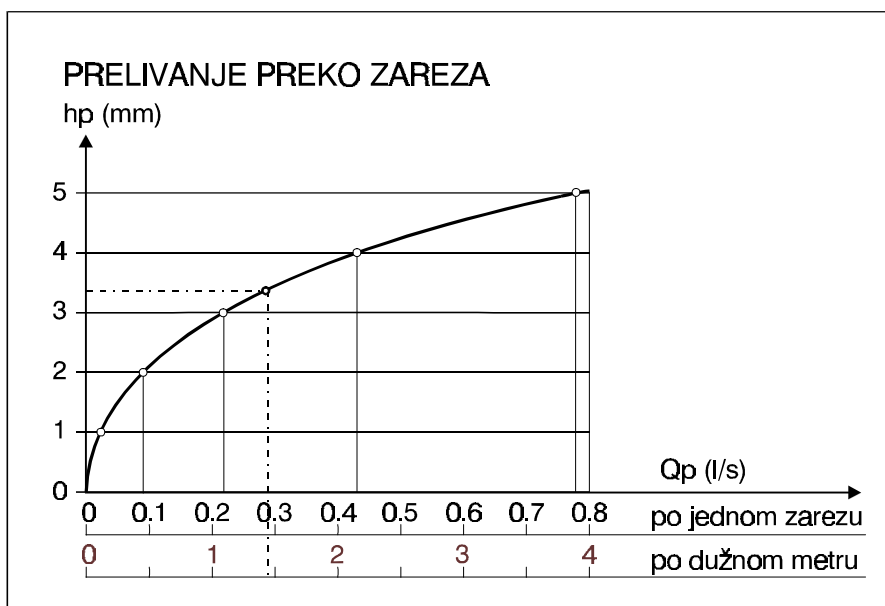
Usvaja se $\Delta h = 0.16 \text{ m}$, pa kota nivoa vode u naknadnom taložniku iznosi:

$$\nabla\text{-NT} = \nabla\text{-K} + 0.16 \text{ m}$$

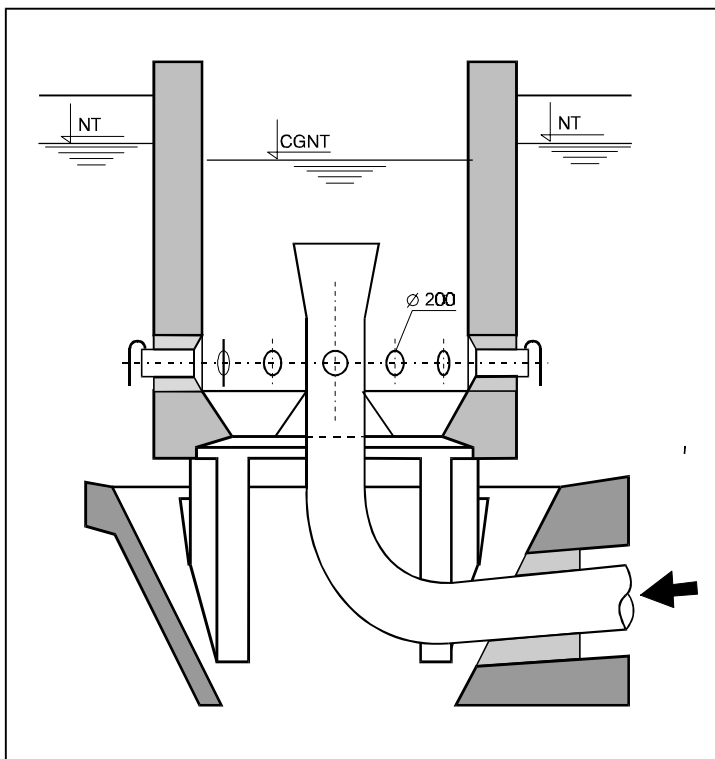
Slika 28 - Detalj - testerasti preliv



Slika 29 - Dijagram zavisnosti visine prelivanja od protoka



Slika 30 - Centralna građevina naknadnog taložnika



Proračun Štengelovih ulaznih elemenata

Tretirana otpadna voda iz bioaeracionog bazena, zajedno sa aktivnim muljem, evakuirane se preko preliva po obodu bioaeracionog bazena, odakle se sifonskim cevovodom odvodi u centralnu građevinu u naknadnom taložniku.

Na centralnoj građevini naknadnog taložnika nalaze se po obodu postavljene otvori za uvođenje tretirane otpadne vode i aktivnog mulja iz bioaeracionog bazena u naknadni taložnik.

Kota vode u centralnoj građevini naknadnog taložnika je $\nabla - \text{CGNT}$.

$$\nabla - \text{CGNT} = \nabla - \text{NT} + \Delta h$$

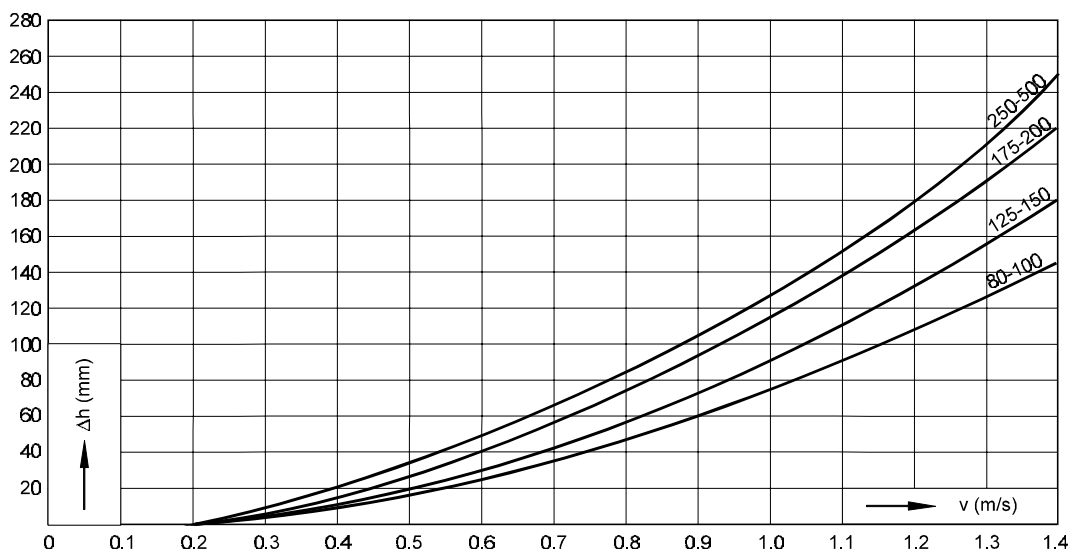
Usvaja se vrednost Štengelovog elementa od $\varnothing 200$ mm.

Usvaja se ukupno 8 simetrično postavljenih Štengelovih otvora, po 4 otvora po obodu centralne građevine svakog naknadnog taložnika (slika 30).

Prema dijagramu za izračunavanje hidrauličkih gubitaka od naknadnog taložnika do centralne građevine (slika 31), dobija se vrednost brzine isticanja vode kroz 8 otvora (4 otvora po jednom naknadnom taložniku) prečnika $\varnothing 200$ mm:

$$v(\text{m / s}) = \frac{Q_{\text{mer}}}{A_{\text{otv}}} = \frac{0.04125}{4 \cdot 0.2^2 \cdot \pi / 4} = 0.329$$

Slika 31 - Dijagram zavisnosti hidrauličkih gubitaka od brzine kod Stengelovih prstenova



Dobijena brzina isticanja $v = 0.33$ m/s je manja od $v_{\text{doz}} = 0.8$ m/s.

Na osnovu dijagrama (slika 31) je $\Delta h = 0.10$ m.

Kota nivoa vode u centralnoj građevini naknadnog taložnika iznosi:

$$\begin{aligned} \nabla \text{CGNT} &= \nabla \text{NT} + 0.10 \text{ m} \\ \nabla \text{CGNT} &= \nabla \text{K} + 0.26 \text{ m} \end{aligned}$$

- Bioaeracioni bazen

Maksimalno očekivana količina vode u sifonskom cevovodu od bioaeracionog bazena do centralnog cilindra naknadnog taložnika (slika 32) je polovina početnog merodavnog proticaja $Q_{\text{mer}} = 0.04125$ m³/s.

Usvaja se sifonski cevovod prečnika $D = 300$ mm i dužine $L = 20.00$ mm.

Gubitak pritiska u sifonskom vodu - Δh (m), izračunava se iz izraza:

$$\Delta h = \left(\xi_1 + 2 \cdot \xi_2 + \xi_3 + \lambda \cdot \frac{L}{D} \right) \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$\xi_1 = 0.5$ - koeficijent lokalnog gubitka na ulazu

$\xi_2 = 0.29$ - koeficijent lokalnog gubitka na kolenu 90°

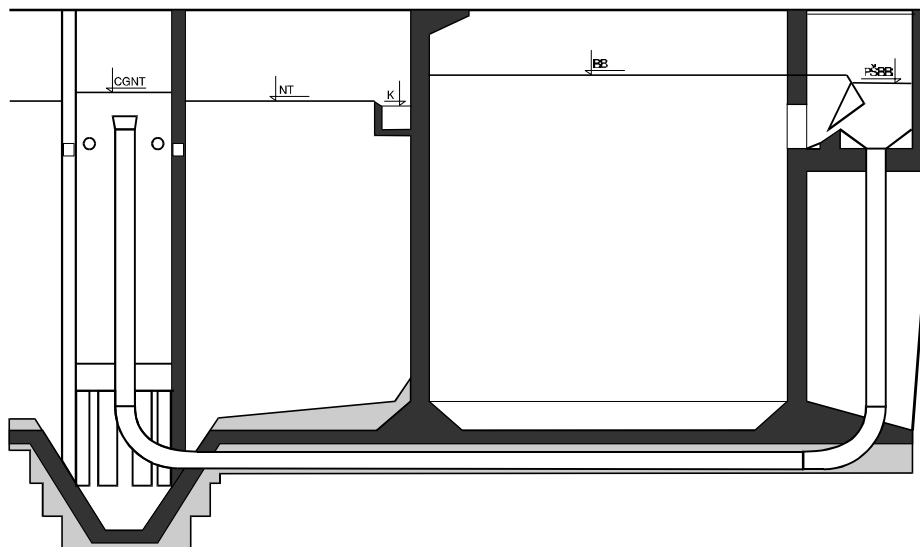
$\xi_3 = 0.5$ - koeficijent lokalnog gubitka na izlazu

$\lambda = 0.038$ - koeficijent linijskog otpora

$$\Delta h(\text{m}) = \left(0.50 + 2 \cdot 0.29 + 0.50 + 0.038 \cdot \frac{20.00}{0.30} \right) \cdot \frac{\left[\frac{0.04125}{0.3^2 \cdot \pi} \right]^2}{2 \cdot 9.81} = 0.072 \approx 0.07$$

Usvaja se vrednost gubitka pritiska u sifonskom vodu od $\Delta h = 0.07$ m.

Slika 9 - Detalj - bioeracioni bazen



Kota nivoa vode u prelivnom šahtu bioeracionog bazena - ∇ PŠBB iznosi:

$$\nabla \text{PŠBB} = \nabla \text{CGNT} + \Delta h = \nabla \text{CGNT} + 0.07 \text{ m}$$

$$\nabla \text{PŠBB} = \nabla \text{K} + 0.33 \text{ m}$$

Proračun visine prelivanja na podesivom prelivu u bioeracionom bazenu

Maksimalno očekivana količina vode na ulazu u svaki biološki bazen je polovina početnog maksimalnog proticaja $Q_{\text{mer}} = 0.04125 \text{ m}^3/\text{s}$.

Usvaja se dužina podesivog preliva od $b = 2.00$ m.

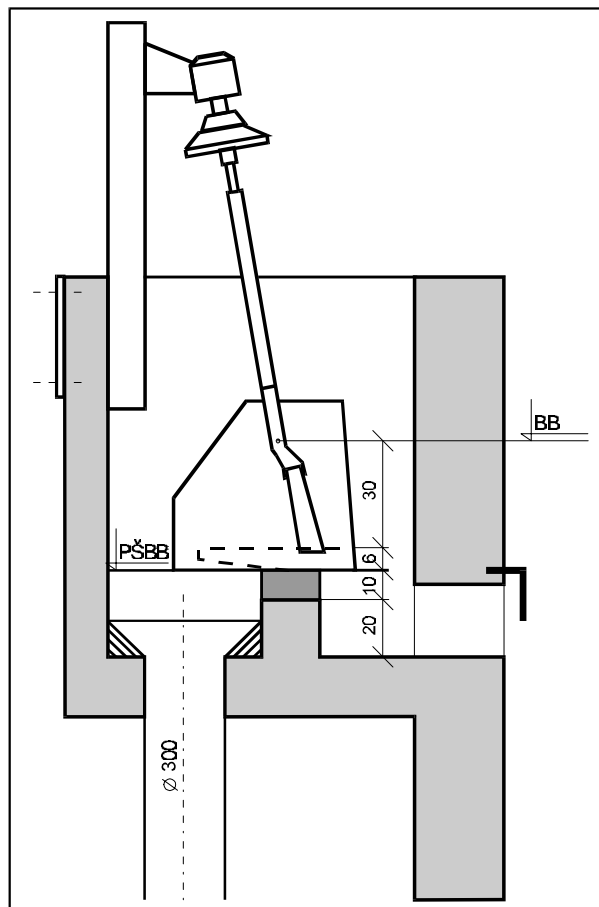
Za koeficijent proticaja $\mu = 0.46$, potrebna visina prelivanja iz bioeracionog bazena iznosi:

$$H \text{ (m)} = \left(\frac{Q_{\text{mer}}}{C_p \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{2/3} = \left(\frac{0.04125}{0.46 \cdot 2 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81}} \right)^{2/3} = 0.074 \approx 0.07$$

Kota nivoa vode u bioeracionom bazenu iznosi:

$$\nabla \text{BB} = \nabla \text{PŠBB} + \Delta h$$

Slika 33 - Regulatorni preliv



Sada je hidraulički gubitak na prelivu:

$$\Delta h = 0.06 \text{ m} + 0.30 \text{ m} + h_p = 0.06 \text{ m} + 0.30 \text{ m} + 0.07 \text{ m} = 0.43 \text{ m}$$

Kota nivoa vode u bioaeracionom bazenu iznosi:

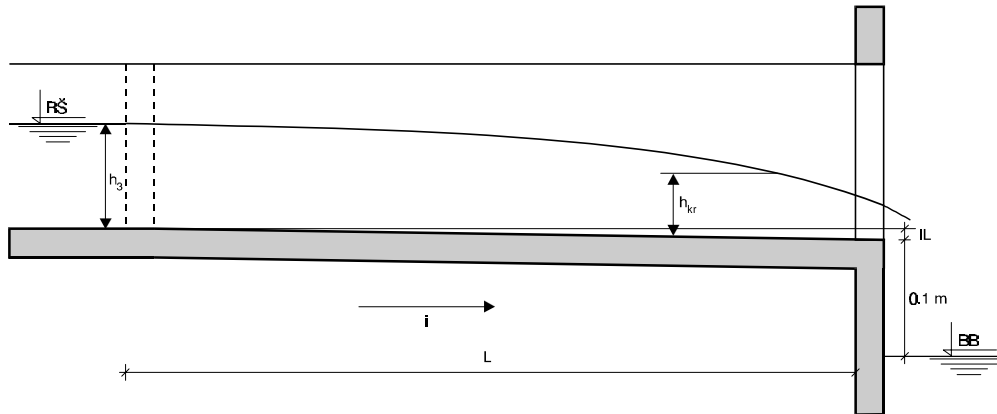
$$\sphericalangle \text{BB} = \sphericalangle \text{PŠBB} + 0.43 \text{ m}$$

$$\sphericalangle \text{BB} = \sphericalangle \text{K} + 0.76 \text{ m}$$

– Proračun kanala od razdelne šahte do bioeracionog bazena

Kota nivoa vode u razdelnom šahtu je ∇ RŠ .

Slika 34 - Kanal od razdelne šahte do bioeracionog bazena



Prema slici 34, vidi se da je kota u razdelnom šahtu:

$$\nabla \text{RŠ} = \nabla \text{BB} + \Delta h$$

Ukupni hidraulički gubitak u kanalu - Δh , iznosi:

$$\Delta h = 0.10 \text{ m} + \Delta h_L + h_3$$

Za usvojeni pad kanala od $i = 3\text{‰}$, kao i dužinu kanala $L = 15 \text{ m}$, dobijamo linijske gubitke duž kanala:

$$\Delta h_L = i \cdot L = 0.003 \cdot 15 = 0.045 \approx 0.5 \text{ m}$$

Kritična dubina vode, sa kojom voda iz kanala izlazi u bioeracioni bazen, proračunava se iz izraza:

$$h_{kr} \text{ (m)} = \sqrt[3]{\frac{Q_{\max}^2}{g \cdot b^2}} = \sqrt[3]{\frac{0.055^2}{g \cdot 0.4^2}} = 0.12$$

Dubina vode iza mernog kanala iznosi: $h_3 = 0.23 \text{ m}$ (iz hidrauličkog proračuna mernog objekta datog u nastavku). Tako je ukupni hidraulički gubitak u kanalu:

$$\Delta h = 0.10 + 0.05 + 0.23 = 0.38 \text{ m}$$

Kota nivoa vode u razdelnom šahtu iznosi:

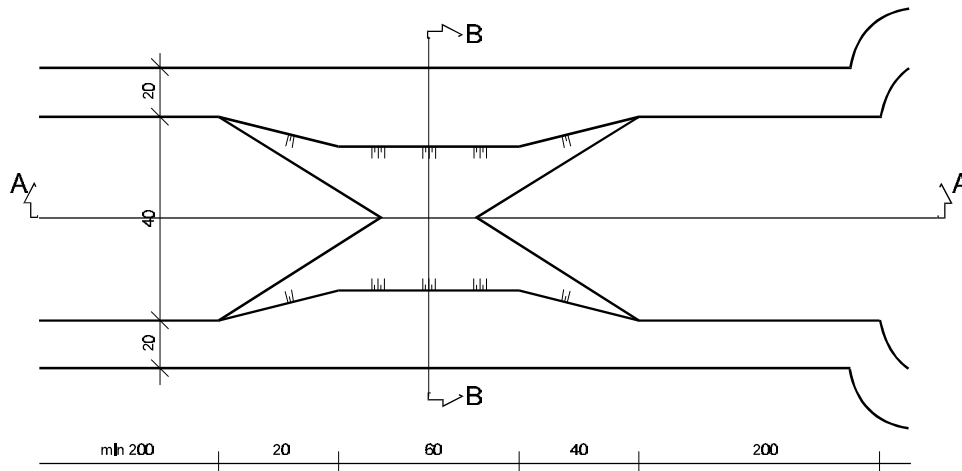
$$\begin{aligned} \nabla \text{RŠ} &= \nabla \text{BB} + 0.38 \text{ m} \\ \nabla \text{RŠ} &= \nabla \text{K} + 1.14 \text{ m} \end{aligned}$$

– Proračun gubitka visine na mernom kanalu

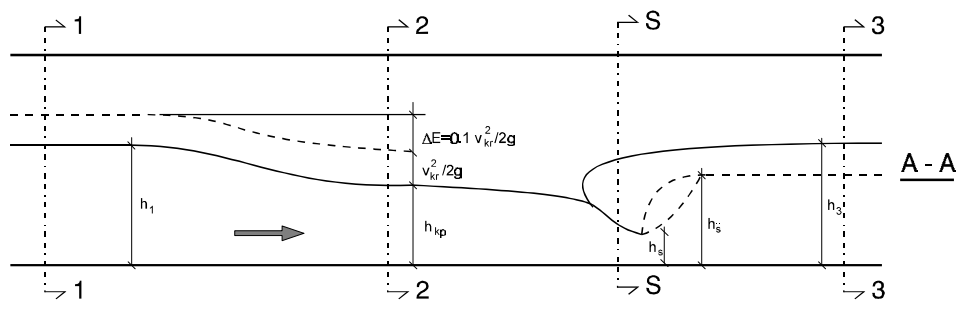
Kota nivoa vode na ulazu u merni kanal je ∇ -MK.

$$\nabla$$
-MK = ∇ -RŠ + Δh

Slika 35 - Merni kanal - osnova i podužni presek



PRESEK A - A

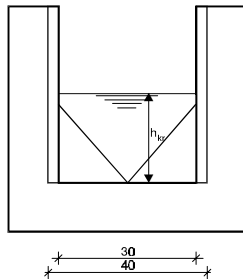


NAPOMENA: Proračun je sproveden za merni kanal kod koga se merenje protoka vrši merenjem dve dubine: h_1 i h_{kr} . U realnim uslovima merenjem ove dve dubine na mernom kanalu dobija se rezultat koji ne zavisi od toga da li je u suženju ostvarena kritična dubina h_{kr} , ili ne. Praksa je pokazala da je postizanje kritične dubine u suženju neizvesno i zavisi od mnogo faktora (način izvođenja, ekstremi protoka, ...).

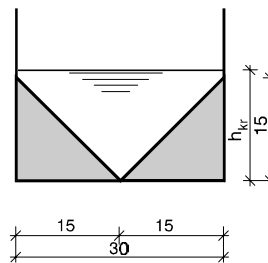
Ukoliko se ipak želi ostvariti jednoznačna veza između dubine i protok, merenjem samo dubine u suženju, za primer kako se vrši dimenzionisanje, pogledati u Literaturi naznačenu publikaciju pod rednim brojem 44.

Slika 36 - Poprečni presek

PRESEK B - B



Slika 37 - Dimenzije preseka



Gubitak visine na meraču protoka

Maksimalno očekivana količina vode u kanalu merača protoka je $Q_{\max}^h = 0.055 \text{ m}^3/\text{s}$. Usvojen je merni kanal širine $b = 300 \text{ mm}$. Za određivanje kritične dubine u kanalu merača protoka koristi se Frudov broj:

$$F_R = 1 = \frac{Q_{\max}^h \cdot B}{g \cdot A_{kr}^3}$$

$B = b$ - širina vodenog ogledala

Poprečni presek za kritičnu dubinu iznosi:

$$A_{kr} (\text{m}^2) = B \cdot \left(h_{kr} - \frac{B}{2} \right) + \left(\frac{B}{2} \right)^2 = 0.3 \cdot (h_{kr} - 0.15) + 0.15^2 =$$

$$= 0.3 \cdot h_{kr} - 0.3 \cdot 0.15 + 0.15^2 = 0.3 \cdot h_{kr} - 0.0225$$

$$F_R = 1 = \frac{0.055^2 \cdot 0.30}{g \cdot (0.30 h_{kr} - 0.0225)^3}$$

$$h_{kr} (\text{m}) = \frac{\sqrt[3]{\frac{0.055^2 \cdot 0.30}{g}} + 0.0225}{0.30} = 0.23 \Rightarrow A_{kr} (\text{m}^2) = 0.3 \cdot 0.23 - 0.0225 = 0.0465$$

Kritična brzina proticaja iznosi:

$$v_{kr} (\text{m / s}) = \frac{Q_{\max}^h}{A_{kr}} = \frac{0.055}{0.0465} = 1.19$$

Bernulijeva jednačina za preseke 1-1 i 2-2 iznosi:

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = h_{kr} + \frac{v_{kr}^2}{2 \cdot g} + 0.1 \cdot \frac{v_{kr}^2}{2 \cdot g}$$

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = 0.27 + 1.1 \cdot \frac{1.19^2}{2 \cdot g} = 0.31 \text{ m}$$

$$h_1 = 0.31 - \frac{v_1^2}{2 \cdot g}$$

$$h_1 \cdot b_1 \cdot v_1 = Q_{\max}^h$$

$$b_1 \text{ (m)} = 0.4$$

$$h_1 \cdot v_1 = \frac{Q_{\max}^h}{b_1} = \frac{0.055}{0.40} = 0.1375$$

$$0.32 \cdot v_1 - \frac{v_1^3}{2 \cdot g} - 0.1375 = 0$$

$$v_1 = 0.44 \text{ m / s}$$

Iz prethodnih relacija se dobija da dubina kanala u preseku 1-1, h_1 iznosi:

$$h_1 = 0.31 \text{ m}$$

Bernulijeva jednačina za preseke 2-2 i S-S iznosi:

$$h_{kr} + \frac{v_{kr}^2}{2 \cdot g} = h_s + \frac{v_s^2}{2 \cdot g} + 0.15 \cdot \frac{v_s^2}{2 \cdot g}$$

$$h_s + 1.15 \cdot \frac{v_s^2}{2 \cdot g} = h_{kr} + \frac{v_{kr}^2}{2 \cdot g} = 0.30 \text{ m}$$

$$h_s = 0.30 - 1.15 \cdot \frac{v_s^2}{2 \cdot g}$$

$$v_{kr} \cdot A_{kr} = b_3 \cdot h_s \cdot v_s$$

$$h_s \cdot v_s = \frac{v_{kr} \cdot A_{kr}}{b_3} = \frac{1.19 \cdot (0.3 \cdot 0.23 - 0.0225)}{0.40} = 0.1383$$

$$0.30 \cdot v_s - 1.15 \cdot \frac{v_s^3}{2 \cdot g} - 0.1383 = 0$$

$$v_s = 1.99 \text{ m / s}$$

Iz prethodnih relacija se dobija da dubina kanala - h_s u preseku S-S iznosi:

$$h_s = 0.07 \text{ m} < h_{kr} = 0.23 \text{ m}$$

Kritična dubina u preseku 3-3 iznosi:

$$h_{kr_3} \text{ (m)} = \sqrt[3]{\frac{Q_{\max}^h{}^2}{g \cdot b_3^2}} = \sqrt[3]{\frac{0.055^2}{g \cdot 0.40^2}} = 0.13$$

Konjugovana spregnuta dubina hidrauličkog skoka - h_s'' u preseku S-S iznosi:

$$h_s'' = \frac{h_s}{2} \cdot \left[\sqrt{1 + 8 \cdot \frac{Q_{\max}^2}{g \cdot b_3^2 \cdot h_s^3}} - 1 \right] = \frac{0.07}{2} \cdot \left[\sqrt{1 + 8 \cdot \frac{0.055^2}{g \cdot 0.40^2 \cdot 0.07^3}} - 1 \right] = 0.203$$

Konjugovana spregnuta dubina mora biti veća od kritične dubine : $h_s'' > h_{kr_3}$

Uslov koji osigurava potopljenost hidrauličkog skoka je da dubina u preseku 3-3 iznosi:

$$h_3 \geq 1.1h_s'' = 0.223 \approx 0.23 \text{ m}$$

Razlika nivoa - Δh u presecima 1-1 i 3-3 iznosi:

$$\Delta h = 0.31 - 0.23 = 0.08 \text{ m}$$

Kota nivoa vode u mernom kanalu iznosi:

$$\nabla \text{MK} = \nabla \text{RŠ} + \Delta h = \nabla \text{RŠ} + 0.08 \text{ m}$$

$$\nabla \text{MK} = \nabla \text{K} + 1.22 \text{ m}$$

– Aerisani peskolov

Maksimalno hidrauličko opterećenje peskolova biće $Q_{\max}^h = 0.055 \text{ m}^3/\text{s}$. Kota nivoa vode na ulazu u peskolov je:

$$\nabla \text{PESK} = \nabla \text{MK} + \Delta h$$

Bernulijeva jednačina za peskolov za presek 1-1 glasi:

$$h + \frac{v^2}{2 \cdot g} = h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + 2.5 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

v - ulazna brzina u peskolov

$$h - 1.5 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = 0.31$$

$$v \cdot h \cdot b = Q_{\max}^h$$

$$v \cdot h = \frac{0.055}{0.40} = 0.1378$$

$$v \cdot h = 0.31 \cdot v + 1.5 \cdot \frac{v^3}{2 \cdot g} = 0.1378$$

Iz navedenih relacija se dobija ulazna brzina u peskolov: $v=0.43 \text{ m/s}$

Dubina vode u peskolovu iznosi:

$$h=0.32\text{m}$$

Razlika nivoa vode u peskolovu i preseku 1-1 iznosi:

$$\Delta h = h - h_1 = 0.32 - 0.31 = 0.01 \text{ m}$$

Kota nivoa vode u peskolovu iznosi:

$$\nabla \text{PESK} = \nabla \text{MK} + 0.01\text{m}$$

$$\nabla \text{PESK} = \nabla \text{K} + 1.23 \text{ m}$$

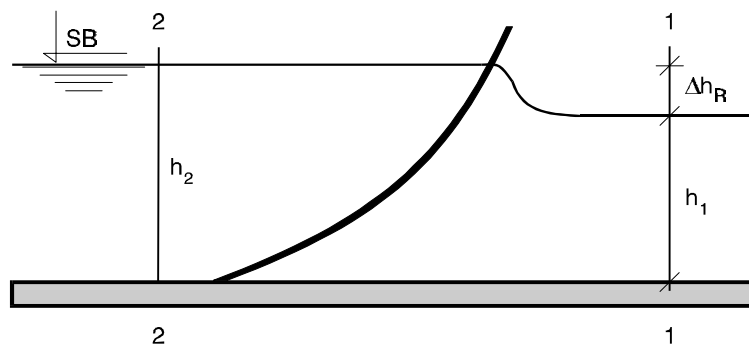
- **automatska lučna rešetka**

Kota nivoa vode u kanalu iza sabirnog bazena - ∇ -SB (kota na koju se voda dovodi potisnim kanalizacionim cevovodom), jednaka je koti peskolova - ∇ -PESK, uvećanoj za hidraulički gubitak na automatskoj rešetki - $\Delta h = \Delta h_R$.

$$\nabla\text{-SB} = \nabla\text{-PESK} + \Delta h$$

$\Delta h = \Delta h_R$ - gubitak na automatskoj rešetki.

Slika 38 - Šema automatske rešetke u preseku



Bernulijeva jednačina za dva preseka, presek 1-1 i presek 2-2, glasi:

$$h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + \Delta h$$

$$\Delta h = h_2 + \frac{v_2^2}{2g} - h_1 - \frac{v_1^2}{2g} \quad 1.$$

Jednačina kontinuiteta za presek kroz rešetku glasi:

$$v_2 \cdot A_2 = Q_{\max}^h$$

$$v_2 \cdot h_2 \cdot n \cdot b \cdot K_R = Q_{\max}^h \quad 2.$$

n- broj otvora

b- širina otvora (razmak između šipki)

K_R - koeficijent kontrakcije

Broj otvora na rešetki zavisi od širine kanala - $B=0.40$ m, razmaka između šipki - $b=0.02$ m i debljine šipke rešetke - $\delta=0.01$ m.

Za usvojene vrednosti broj šipki iznosi:

$$n = \frac{B}{\delta + b} = \frac{0.40}{0.01 + 0.02} = 13$$

Pri određivanju hidrauličkog gubitka na rešetki polazi se od maksimalnog proticaja kroz rešetku.

$$Q_{\max}^h = v_2 \cdot h_2 \cdot n \cdot b \cdot K_R$$

$K_R=0.82$ - koeficijent kontrakcije

$$v_2 \cdot h_2 = \frac{0.055}{13 \cdot 0.02 \cdot 0.82} = 0.258$$

$$v_2 \cdot h_2 = (A)$$

Jednačina za hidraulički gubitak na rešetki iznosi:

$$\Delta h = \xi_R \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \quad 3.$$

$$\xi_R = \beta \cdot (\delta / b)^{4/3} \cdot K \cdot \sin \theta$$

β - koeficijent zavistan od oblika poprečnog preseka šipke rešetke (2.42 i prav ugao)

δ - debljina šipke

b - razmak između šipki

K - koeficijent začepljenja rešetke ($K=3$)

θ - ugao nagiba rešetke prema horizontali (60-90°)

Iz jednačina (1), (2) i (3) dobijaju se: brzina proticaja - v_2 , visina sloja - h_2 iza lučne rešetke, kao i hidraulički gubitak na lučnoj rešetki - Δh .

1) Transformisana jednačina (1)

$$\Delta h = h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} - h_1 - \frac{v_1^2}{2 \cdot g}$$

$h_1 = h_N = 0.32$ m - normalna dubina kanala

$$v_1 \text{ (m / s)} = \frac{Q_{\max}^h}{A_1} = \frac{0.055}{0.40 \cdot 0.32} = 0.43$$

$$\Delta h = h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} - 0.32 - \frac{0.43^2}{2 \cdot g}$$

$$(B) = 0.32 + \frac{0.43^2}{2 \cdot g} = 0.3294$$

$$\Delta h = h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} - (B) \quad 1'$$

2) Transformisana jednačina (2)

$$v_2 \cdot h_2 = (A) \quad 2'$$

3) Transformisana jednačina (3)

$$\Delta h = \xi_R \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g}$$

$$\xi_R = \beta \cdot (\delta / b)^{4/3} \cdot 3 \cdot \sin(90) = 2.42 \cdot (0.01 / 0.02)^{4/3} \cdot 3 \cdot 1 = (C) = 2.881$$

$$\Delta h = (C) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \quad 3'$$

Zamenom jednačina (3') u (1') dobijaju se relacije:

$$(C) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = h + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = h_2 - (B)$$

$$[(C) - 1] \cdot \frac{v_2^2}{2g} = h_2 - (B)$$

Zamenom vrednosti h_2 iz jednačine (2') u gornjoj relaciji dobijaju se tražene vrednosti v_2 , h_2 i Δh .

$$h_2 = \frac{(A)}{v_2}$$

$$(C_1) = (C) - 1 = 2.881 - 1 = 1.881$$

$$(C_1) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = \frac{(A)}{v_2} - (B)$$

$$(C_1) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} - \frac{(A)}{v_2} + (B) = 0$$

Zamenom poznatih vrednosti za (C_1) , (A) i (B) u navedenom izrazu dobija se:

$$v_2 = 0.69 \text{ m/s}$$

Zamenom dobijene vrednosti za v_2 u jednačini (2') dobija se:

$$h_2 = 0.37 \text{ m}$$

Na kraju, zamenom svih vrednosti u izrazu (1'), ili (3'), dobija se traženi hidraulički gubitak na lučnoj rešetki:

$$\Delta h = 0.07 \text{ m}$$

Kota nivoa vode u kanalu na ulazu u postrojenje iznosi:

$$\begin{aligned} \sphericalangle \text{SB} &= \sphericalangle \text{PESK} + \Delta h = \sphericalangle \text{PESK} + 0.07 \text{ m} \\ \sphericalangle \text{SB} &= \sphericalangle \text{R} + 1.30 \text{ m} \end{aligned}$$

 – **Raspodela kota na liniji vode**

Kada se za relativnu kotu ± 0.00 usvoji kota na kojoj je potrebno, pod pritiskom iz kanalizacionog cevovoda, dovesti vodu na ulaz u postrojenju, tada se dobija sledeća raspodela kota objekata i postrojenja:

referentna kota (kanal iza sabirnog bazena):	$\nabla\text{SB} = (+1.30)$	$\Rightarrow \pm 0.00 \text{ m}$
kota peskolova:	$\nabla\text{PESK} = (+1.23)$	$\Rightarrow - 0.07 \text{ m}$
kota mernog kanala:	$\nabla\text{MK} = (+1.22)$	$\Rightarrow - 0.08 \text{ m}$
kota razdelnog šahta:	$\nabla\text{RŠ} = (+1.14)$	$\Rightarrow - 0.16 \text{ m}$
kota bioloških bazena:	$\nabla\text{BB} = (+0.76)$	$\Rightarrow - 0.54 \text{ m}$
kota prelivnog šahta bioloških bazena:	$\nabla\text{PŠBB} = (+0.33)$	$\Rightarrow - 0.97 \text{ m}$
kota centralne građevine naknadnog taložnika:	$\nabla\text{CGNT} = (+0.26)$	$\Rightarrow - 1.04 \text{ m}$
kota naknadnih taložnika:	$\nabla\text{NT} = (+0.16)$	$\Rightarrow - 1.14 \text{ m}$
kota obodnog kanala naknadnog taložnika:	$\nabla\text{K} = (\pm 0.00)$	$\Rightarrow - 1.30 \text{ m}$

4.2.3. Hidraulički proračun po liniji mulja

1) Prema hidrauličkom proračunu po liniji vode je dobijeno da je kota u centralnoj građevini naknadnog taložnika:

$$\nabla\text{CGNT} = - 1.04 \text{ m}$$

2) Kota u muljnoj crpnoj stanici iznosi:

$$\nabla\text{MCS} = \nabla\text{CGNT} - \Delta h$$

Mulj gravitaciono dolazi u muljnu crpnu stanicu cevovodom $\varnothing 300$ pa se dobije veoma mali, odnosno zanemarljiv hidraulički gubitak ($\Delta h \cong 0$), pa je na osnovu toga:

$$\nabla\text{MCS} = \nabla\text{CGNT} = - 1.04 \text{ m}$$

3) Kota u silosu za mulj (maksimalna kota cevovoda kojim muljna pumpa potiskuje mulj u silos) iznosi:

$$\nabla\text{SM} = 2.00 \text{ m}$$

4.3. POSTROJENJE KAPACITETA OD 30 000 ES

– Hidrauličko opterećenje postrojenja

Hidrauličko opterećenje postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, za kapacitet od 10 000 ES, preračunava se iz sledećih relacija:

- broj ekvivalentnih stanovnika: $N_{ES} = 30\ 000\ ES$
- norma otpadnih voda: $q = 250\ l/ES\ na\ dan$
- srednje dnevno hidrauličko opterećenje se preračunava iz relacije:

$$Q_{sr}^d = N_{ES} \cdot q = 30000 \cdot 0.25 = 7500\ m^3\ na\ dan = 312.5\ m^3 / h = 88.81\ l / s$$

- usvaja se koeficijent neravnomernosti: $K_{op} = 1.90$
- maksimalno časovno hidrauličko opterećenje se određuje iz relacije:

$$Q_{max}^h = Q_{sr}^d \cdot K_{op} = 7500 \cdot 1.9 = 14250\ m^3\ na\ dan = 593.75\ m^3 / h = 165\ l / s$$

Usvaja se maksimalno hidrauličko opterećenje od: $Q_{max}^h = 165\ l/s$

– Biološko opterećenje postrojenja

Biološko opterećenje postrojenja za prečišćavanje upotrebljenih voda, za kapacitet od 30 000 ES, izračunava se na osnovu specifičnog biološkog opterećenja izraženog preko biološke potrošnje kiseonika (BPK_5) po ekvivalentnom stanovniku na dan:

$$b = 70\ g\ O_2(BPK_5)\ po\ ES\ na\ dan$$

Na taj način, izračunava se biološko opterećenje postrojenja iz relacije:

$$B(kgBPK_5\ na\ dan) = N_{ES} \cdot b = 30000 \cdot 0.07 = 2100$$

– Osnovni parametri i šema postupka

Osnovni parametar prilikom izbora tehnološke šeme prečišćavanja otpadnih voda je zahtevani kvalitet finalnog efluenta pre upuštanja u recipijent. Uobičajeno se prečišćene otpadne vode iz gradskih postrojenja smeju ispuštati u recipijent pod sledećim parametrima kvaliteta:

- $C_{BPK_5} = 2.5\ mgO_2/l$ (bez nitrifikacije), uz minimalan stepen redukcije 70-90%
- $C_{HPK} = 12.5\ mgO_2/l$, uz minimalan stepen redukcije 75%
- $C_{susp. materije} = 35\ mg/l$, uz minimalan stepen redukcije 90%

Za postrojenja za prečišćavanje upotrebljenih voda kapaciteta 10 000 ES, koje inače spada u srednje uređaje, najprikladniji način prerade je "extended aeration" (produžena aeracija) sa istovremenom stabilizacijom mulja.

Ovakav koncept prečišćavanja otpadnih voda se pokazao kao veoma pogodan u praksi iz razloga što je u mogućnosti da prati "udare" opterećenja bez dogradnje novih objekata i ugradnje nove opreme. Takođe je veoma fleksibilan u pogledu proširenja kapaciteta uređaja u koliko se prilikom eksploatacije ukaže potreba, odnosno ukoliko planirani kapacitet nije u stanju da podmiri novonastale potrebe.

Navedeni proces prečišćavanja se sastoji od mehaničko-biološkog procesa pri čemu se u mehaničkom delu posle primarnog dizanja otpadnih voda, iz istih na automatskoj rešetki otklanjaju preostali čvrsti otpatci određenog prečnika (većeg od svetlog otvora rešetke), a zatim u

peskolovu vrši istaložavanje peska i ostalih lakotaložljivih materija. U biološkom delu postrojenja se vrši razgradnja rastvorenih organskih materija metodom sa aktivnim muljem uz aerobnu stabilizaciju istog.

Istaloženi mulj se zgrće na dnu naknadnog taložnika i odatle cevovodom transportuje do šahta gde se nalaze potopljene muljne pumpe pomoću kojih se vrši recirkulacija aktivnog mulja i prebacivanje viška mulja na dalji tretman u silos mulja. Naime, kada se u toku rada postrojenja konstatuje višak aktivnog mulja, tada se manipulacijom ventilima taj mulj evakuše u objekat za zgušnjavanje mulja gde odležava jedan određeni period. Pri tome se nadmuljna voda vraća nazad u proces, a ugušćeni mulj gravitaciono dovodi na filter presu. Nakon dehidratacije mulj se odvozi na deponiju ili se koristi kao proizvodno visokovredno đubrivo.

Tehnološka šema uređaja sastoji se iz sledećih celina:

- sabirni šaht,
- automatska rešetka,
- aerisani peskolov,
- merni objekat,
- aeracija sa istovremenom aerobnom stabilizacijom mulja,
- naknadni taložnik,
- recirkulacija mulja,
- zgušnjavanje mulja,
- dehidratacija mulja.

Posmatrano prema liniji vode, odnosno prema liniji mulja, može se izvršiti podela objekata kako sledi i to:

Linija vode:

- sabirni šaht,
- automatska rešetka,
- aerisani peskolov,
- venturijev merni kanal,
- bioaeracioni bazen,
- naknadni taložnik.

Linija mulja:

- crpna stanica za recirkulaciju mulja,
- zgušnjivač mulja,
- filter presa.

Ostali objekti:

- upravno-pogonska zgrada,
- vodovodna mreža u krugu objekta,
- objekti neposredne sanitarne zaštite (žičana ograda i tabla upozorenja),
- zelene površine u krugu objekta.

Na ovom mestu potrebno je naglasiti da je deo postrojenja za biološki tretman i taloženje aktivnog mulja izveden u vidu mono bloka, pa iz tih razloga zauzima značajno manje prostora u odnosu na nekompaktno projektovane sisteme, odnosno sisteme kod kojih su bioaeracioni bazen i naknadni taložnik predviđeni kao razdvojene, konstruktivno nezavisne celine.

4.3.1. Dimenzionisanje objekata

Prilikom izbora opreme postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, kao jedan od osnovnih polaznih kriterijuma je taj da se kompletna oprema za sve objekte odabere u okvirima domaće proizvodnje. Analizom ponuđenih proizvodnih programa domaćih proizvođača, a u cilju obezbeđenja sigurnog pogona sa mogućnošću ispunjenja svih postavljenih uslova za kvalitetom finalnog efluenta, predlaže se izbor hidromašinske opreme prema specijalizovanim proizvodnim programima proizvođača "Eko-Vodo Inženjering" iz Beograda, "Jastrebac" iz Niša i "Sever" iz Subotice, a sva izabrana oprema je saglasna sa standardima evropskih proizvođača (Passavant Werke).

4.3.1.1. Linija vode

– Sabirni šaht za upotrebljenu vodu

Na kraju potisnog kanalizacionog kolektora, na ulazu u postrojenje, voda dolazi na potrebnu kotu, ulazi u sabirni šaht, a odatle voda gravitaciono teče kroz sve objekte postrojenja.

U sabirni šaht dolazi maksimalno opterećenje koje iznosi: $Q_{\max}^h \approx 165.0$ l/s.

– Automatska rešetka

Kao prvi objekat predtretmana, prema prethodno priloženoj tehnološkoj šemi, predviđena je automatska rešetka. U današnje vreme izražena je tendencija izgradnje postrojenja za prečišćavanje upotrebljenih voda sa što većim efektom predtretmana. Naime, čest je slučaj u praksi, da se realizuju samo mehanički delovi sistema za prečišćavanje, tako da je potrebno postići što efikasniji predtretman radi zaštite recipijenta, a i sa povećanjem stepena mehaničkog predtretmana dolazi do sniženja organskog opterećenja biološkog stepena obrade, što dovodi kako do smanjenja gabarita tih objekata, tako i do snižavanja energetske troškova. U slučaju da dođe do zaepljenja rešetke ili zastoja u radu, tada otpadna voda teče zaobilaznim kanalom, "bypass" - om, preko ravne rešetke sa ručnim čišćenjem. Sakupljeni otpad se sa automatske rešetke odbacuje u kontejner koji se odvozi na gradsku deponiju.

Predlaže se usvajanje lučne rešetke koja se radi po ugledu na rešetku "Unioninvest", po licenci "Passavant Werke" i ugrađuje u kanal pravougaonog poprečnog preseka sledećih karakteristika:

— širina kanala:	B = 40 cm
— ukupna visina kanala:	H = 80 cm

Karakteristike "bypass" kanala su sledeće:

— širina "bypass" kanala:	B = 40 cm
— ukupna visina "bypass" kanala:	H = 80 cm.

– Peskolov

Za izdvajanje težih, uglavnom mineralnih sastojaka kao što je pesak, iz otpadnih voda, u okviru predložene tehnologije prečišćavanja predviđena je izgradnja taložnika za pesak, odnosno peskolova, koji se u principu locira na svim postrojenjima, bez obzira što se u ovom slučaju ne radi o opštem već o separacionom sistemu kanalizacije naselja. Peskolov funkcioniše na principu smirivanja toka vode, ali samo toliko da se omogući taloženje specifično težih čestica peska. Da bi se održala stalna brzina vode u peskolovu, treba predvideti ugradnju mešalice koja se

okreće konstantnom brzinom i održava stalnu brzinu vode, čime je sprečeno taloženje organskih materija.

Istaloženi mineralni materijal se iz peskolova evakuše mamut pumpom u procedni šaht neposredno pored peskolova. Voda se vraća nazad u proces, a pesak odvozi na deponiju.

Usvaja se da vreme zadržavanja (retenzije), za $Q_{\max}^h = 593.75 \text{ m}^3/\text{h}$, iznosi $t = 6 \text{ min}$.

Na taj način, potrebna korisna zapremina peskolova za maksimalno časovno optrećenje iznosi:

$$V(\text{m}^3) = \frac{t \cdot Q_{\max}^h}{60} = \frac{6 \cdot 593.75}{60} = 593.8$$

Predlaže se kružni peskolov tipa "Pista" po ugledu na peskolov "Unioninvest", po licenci "Passavant - Werke" tip 7-60. Karakteristike peskolova su:

— prečnik peskolova:	$D_p = 6.0 \text{ m}$
— korisna zapremina peskolova:	$V_p = 58 \text{ m}^3$
— vreme zadržavanja:	$t = 5.90 \text{ min}$

– Merni kanal

Nakon prolaska kroz peskolov, a pre raspodele i odlaska ka bioaeracionim bazenima voda prolazi kroz merni uređaj za merenje proticaja tipa Venturi, kapaciteta do 165 l/s.

– Bioaeracioni bazen

U procesu obrade otpadnih voda biološkim prečišćavanjem teži se da se u što većoj meri iz influenta uklone biološki razgradljive organske materije čime se postiže sniženje BPK zagađenih voda.

Kod procesa sa aktivnim muljem kontaktna površina za prenos kiseonika se ostvaruje preko formirane mase pahuljica mulja - aktivnog mulja. Kiseonik se unosi uduvanjem vazduha ili mehaničkom izmenom mase otpadne vode u neposrednom kontaktu sa vazduhom. Organska materija u otpadnoj vodi služi kao hrana-energent mikroorganizmima, najčešće bakterijama, u aktivnom mulju.

Ekstracelularnom razgradnjom složenih organskih materija u aerobnim uslovima nastaju nižemolekulske organske materije, koje se mogu transportovati unutar ćelija bakterija. Unutar ćelija dolazi do intracelularne razgradnje nižemolekulskih organskih materija pod dejstvom enzima. Ovom prilikom se oslobađa energija, koja se koristi najvećim delom za metaboličke procese ćelija, a manjim delom se odaje u okolnu sredinu. Od ostataka organskih materija, koje čine gradivne jedinice, kao i od oslobođene energije, kojom se formiraju energetske gradivne jedinice, dolazi do nastajanja nove biomase u aktivnom mulju. Takođe, mineralizovani deo ostataka organskih materija se zadržava u pahuljama aktivnog mulja. Sve ovo čini da aktivni mulj postaje teži, pa gravitaciono brže tone.

Deo ćelija u aktivnom mulju sa vremenom odumire. Njihova biomasa služi kao hrana živim ćelijama aktivnog mulja, a mineralizovani ostaci mrtvih ćelija uvećavaju masu pahulje aktivnog mulja.

Posle određenog vremena broj aktivnih ćelija u pahuljica u odnosu na masu pahulje toliko padne, da pahuljica više nema efikasnost potrebnu za biohemijske i metaboličke procese u razgradnji organskih materija iz otpadne vode. Ovako degradirane pahuljice treba evakuisati iz otpadne vode, kako bi se forsirale sveže formirane i visoko aktivne pahuljice mulja. "Stare"

izreagovale pahulje mulja su gravitaciono teže od svežih pahulja, te se mogu međusobno razdvajati gravitaciono.

Tokom metaboličkih procesa aktivni mulj prolazi kroz dve faze: faze izgradnje ćelija (nastajanje nove biomase) i faze razgradnje ćelija (odumiranje izreagovale biomase), koje se odvijaju istovremeno, u okviru bioaeracionog bazena, a izdvajanje aktivnog mulja iz otpadne vode se vrši gravitaciono u naknadnom taložniku.

Mešavina zagađene vode (influenta) i aktivnog mulja iz bioaeracionog bazena neprestano otiče u naknadni taložnik radi gravitacionog izdvajanja biomase aktivnog mulja. Iz naknadnog taložnika prečišćena voda (efluent) odlazi prema daljem tretmanu. Istaložene pahuljice mulja neprekidno se vraćaju u bioaeracioni bazen radi mešanja sa novom količinom zagađene vode.

Aktivni mulj mora da se održava u suspenziji u toku kontakta sa zagađenom vodom koja se prečišćava, stalnom agitacijom - kretanjem influenta, tako da se postupak sastoji od sledećih operacija:

- mešanje influenta sa zagađenom vodom koja se prerađuje,
- aeracija i agitacija ove mešavine za potreban vremenski period, u bioaeracionom bazenu,
- odvajanje - separacija aktivnog mulja iz mešavine, u sekundarnom taložniku,
- vraćanje odgovarajuće količine aktivnog mulja (povratni mulj) u cilju ponovnog mešanja sa influentom,
- odstranjivanje i dispozicija viška aktivnog mulja.

U bioaeracionom bazenu se vrši transformacija organskih materija u energiju i živu materiju (biocenu) mikroorganizama - aktivni mulj koji se izdvaja taloženjem u sekundarnom taložniku, odakle se veći deo recirkuliše do bioaeracionog bazena i meša uz intenzivnu aeraciju sa influentom, dok se drugi, manji deo aktivnog mulja, kao višak, šalje na dalji tretman mulja.

Kako je objašnjeno u prethodnim poglavljima ovog projekta, zahtevani kvalitet finalnog efluenta može se postići tzv. postupkom produžene aeracije. Naime, trajanje aeracije se tada uzima od 18-36 h, posmatrano za srednje dnevne količine otpadnih voda.

Dimenzionisanje bioaeracionog bazena izvršeno je na sledeći način:

- hidrauličko opterećenje iznosi: $Q_{sr}^d = 86.819 \text{ l/s} = 7\,500 \text{ m}^3 \text{ na dan} = 312.5 \text{ m}^3/\text{h}$
- biološko opterećenje influenta iznosi: $B = 2100 \text{ kg BPK}_5 \text{ na dan} = 87.5 \text{ kgBPK}_5/\text{h}$
- koncentracija BPK_5 u sirovoj vodi iznosi: $C_{\text{BPK}_5, \text{inf}} = 280 \text{ mg/l}$
- zahtevana koncentracija BPK_5 u finalnom efluentu iznosi: $C_{\text{BPK}_5, \text{dozv}} = 25 \text{ mg/l}$
- potrebno biološko opterećenje bioaeracionog bazena za produženu aeraciju po jedinici zapremine bazena kreće se u granicama od 0.1-0.4 $\text{kgBPK}_5/\text{m}^3 \cdot \text{dan}$, pa se usvaja: $B_v = 0.25 \text{ kgBPK}_5/\text{m}^3 \text{ na dan}$
- obzirom da se u procesu predtretmana, na rešetkama, odstranjuje 10% od ukupnog opterećenja, dobija se potrebna zapremina bioaeracionog bazena:

$$V_{BB} (\text{m}^3) = \frac{0.9 \cdot Q_{sr}^d}{B_v} = \frac{0.9 \cdot 2100}{0.25} = 7560$$

Kako je već više puta navedeno u prethodnom tekstu, radi ispravnog funkcionisanja postrojenja, odnosno biološkog prečišćavanja, bioaeracioni bazen se mora "razbiti" na više manjih jedinica, kako bi se zadržala fleksibilnost u radu, odnosno kako bi se bez problema pratile različite količine otpadnih voda koje dotiču na postrojenje i kako bi se nesmetano primali, kako "udari",

tako i minimalni doticaji. Iz tih razloga usvojeno je da se izvrši podele na dva bioaeraciona bazena sa naknadnim taložnicima, koji će, uz ostale objekte, garantovati zahtevani kvalitet finalnog efluenta.

Usvajaju se dva bioaeracionih bazena zapremina od po $V_B = 3\,780\text{ m}^3$

Definitivne zapremine, odnosno dimenzije bioaeracionih bazena biće usvojene nakon dimenzionisanja naknadnih taložnika, obzirom da su ovi objekti objedinjeni u "kombinovane objekte" u vidu mono blokova.

Opterećenje mase mulja za proces produžene aeracije kreće se u granicama od 0.05-0.15 kg BPK₅/kg SM na dan.

Usvaja se: $B_{SM} = 0.05\text{ kg BPK}_5/\text{kg SM}$ na dan, na osnovu čega proizilazi da koncentracija suve materije aktivnog mulja u bioaeracionom bazenu iznosi $5\text{ kg}/\text{m}^3$.

Okvirne granice za koncentraciju suve materije aktivnog mulja za produženu aeraciju iznose od 3 - 6 kg/m^3 .

Za potrebe aerobnog tretmana otpadne vode i aerobne stabilizacije mulja postupkom produžene aeracije usvaja se specifična potrošnja kiseonika u visini od: $OC/B_V = 2.5\text{ kg O}_2/\text{kg BPK}_5$, pa je ukupno potreban kiseonik od $218.75\text{ kg O}_2/\text{h}$, odnosno po bazenima $2 \times 109.4\text{ kg O}_2/\text{h}$.

Za svaki bioaeracioni bazen usvajaju se po dva dupla mamut rotora $\varnothing 1000\text{ mm}$ dužine $2 \times (2 \times 4.5\text{ m}) = 2 \times 9\text{ m}$. Prilikom dimenzionisanja aeracije pomoću četki usvaja se da unos kiseonika iznosi $7.0\text{ kg O}_2/\text{h}$ po dužnom metru mamut rotora pri uronu od 22 cm. Dužinom od 18 metara postizemo unos kiseonika od $126\text{ kg O}_2/\text{h}$. Prema dijagramu proizvođača i sračunatoj potrebnoj količini kiseonika potrebnog za aeraciju, za potreban kapacitet kiseonika od $110.0\text{ kg O}_2/\text{h}$, dubina urona usvojenih mamut rotora iznosi oko 19 cm.

– Naknadni taložnik

Za separaciju biološkog mulja iz tretirane vode, nakon njenog izlaska iz bioaeracionog bazena, predviđa se gravitacioni postupak u naknadnom taložniku. Suština procesa sa aktivnim muljem je da se deo izdvojenog mulja iz naknadnog taložnika (povratni mulj) kontinuirano vraća u bioaeracioni bazen. Višak izdvojenog mulja iz naknadnog taložnika se mora ukloniti pre nego što se potpuno izgubi njegova aktivnost, odnosno pre uginuća aerobnih mikroorganizama na dnu sekundarnog taložnika usled nedostatka kiseonika.

Dimenzionisanje naknadnog taložnika u postupku produžene aeracije vrši se prema hidrauličkom opterećenju površine, koje se prosečno kreće u granicama od 8-16 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dan}$, odnosno maksimalno u granicama od 24-32 $\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dan}$, kao i opterećenju površine muljem koje se prosečno kreće u granicama od 1-5 $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$, odnosno maksimalno od 7 $\text{kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$.

Obračun za naknadni taložnik se vrši za prosečno dnevno opterećenje za 18 sati:

$$Q_{18} (\text{m}^3 / \text{h}) = Q_{\text{sr.dn}} \cdot \frac{24}{18} = 312.5 \cdot \frac{24}{18} = 416.68$$

Kako se radi o dve jedinice, prosečno dnevno opterećenje Q_{18} po jedinici iznosi $2 \times 208.34\text{ m}^3/\text{h}$.

Hidrauličko opterećenje bioaeracionog bazena otpadnom vodom za dve jedinice iznosi $2 \times 208.34\text{ m}^3/\text{h}$. Koncentracija suve materije mulja u bioaeracionom bazenu iznosi $5\text{ kg}/\text{m}^3$.

Usvaja se maseno opterećenje površine naknadnog taložnika od $5\text{ kg}/\text{m}^2 \cdot \text{h}$, što odgovara hidrauličkom opterećenju od $1\text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$ ($24\text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dan}$). Tako je brzina "proticanja" kroz naknadni

taložnik (prelivna brzina) 1.0 m/h, pa se dobija da je ukupna površina naknadnog taložnika 416.68 m², odnosno po 2×208.34 m².

Taloženje aktivnog mulja spada u takozvani difuzni zavisni, odnosno zonski (usporeni) tip taloženja, koje se definiše po teoriji G.J. Kynch-a. Ovo taloženje karakteriše značajno veća visina prelaznog sloja (zona taloženja), odnosno sloja u kome se vrši razdvajanje tečne i čvrste faze, nego u ostalim slučajevima taloženja.

Minimalna dubina vode u taložniku predstavlja zbir potrebnih minimalnih dubina za zonu zgušnjavanja, zonu razdvajanja faza i zonu čiste vode, odnosno:

$$h_{\min} = h_1 + h_2 + h_3, \text{ gde su:}$$

$$h_1 = 0.5 \text{ m (obzirom da je indeks mulja: } I_M = 100 \text{ l/kg SM),}$$

$$h_2 = 2.5 \text{ m,}$$

$$h_3 = 0.5 \text{ m,}$$

pa se dobija da je minimalna dubina u taložniku: $h_{\min} = 3.5 \text{ m}$.

Usvajaju se dva naknadna taložnika sledećih dimenzija:

— prečnik:	$D_{NT} = 16.5 \text{ m}$
— dubina:	$h_{NT} = 3.5 \text{ m}$
— površina:	$P_{NT} = 208.4 \text{ m}^2$
— zapremina:	$V_{NT} = 729.2 \text{ m}^3$
— vreme zadržavanja:	$t = 3.5 \text{ h}$

Prema usvojenim dimenzijama naknadnog taložnika, uz debljinu pregradnog zida od 50 cm, dobijaju se dimenzije "kombinovanog objekta" (bioaeracionog bazena i naknadnog taložnika u vidu mono bloka) kako sledi:

— prečnik naknadnog taložnika :	$D_{NT} = 16.5 \text{ m}$
— dubina vode u naknadnom taložniku:	$h_{NT} = 3.5 \text{ m}$
— širina bioaeracionog bazena:	$B_{BB} = 10.5 \text{ m}$
— dubina vode u bioaeracionom bazenu:	$h_{BB} = 4.0 \text{ m}$

– Izlivna građevina

Iz naknadnog taložnika, prečišćena voda odlazi cevovodima do šahtova, mernog šahta i na kraju do izlivne građevine, locirane uz recipijent.

4.3.22. Linija mulja**– Crpna stanica za recirkulaciju mulja**

Količina povratnog recirkulacionog mulja zavisi od recirkulacionog odnosa, odnosno od odnosa sadržaja mulja u bioeracionom bazenu ($SM=5\text{kg/m}^3$), koncentracije povratnog mulja koja se dobija prema indeksu mulja ($I_m=100\text{l/kg SM}$) i koncentracije suve materije ($SM_{RM}=10\text{ kg SM/dan}$).

Tada recirkulacioni odnos iznosi:

$$R O_{RM} = \frac{SM}{SM_{RM} - SM} = \frac{5}{10 - 5} = 1$$

Dobija se da ukupna količina recirkulacionog mulja iznosi: $Q_{RM} \approx 165.0\text{ l/s}$.

Usvaja se crpna stanica šahtnog tipa sa potopljenim muljnim pumpama, sa tri pumpe (dve radne i jedna rezervna) kapaciteta po 84 l/s i visinom dizanja od 10 m.

Povratni mulj se potisnim cevovodom vraća u razdelni šaht odakle dalje odlazi ka bioeracionim bazenima ili u silos za mulj u zavisnosti od stanja otvorenosti zatvarača.

– Gravitacioni zgušnjivač mulja - silos za mulj

Tehnologijom produžene aeracije se vrši, pored biološke razgradnje rastvorenih organskih materija i aerobna stabilizacija mulja u bioeracionom bazenu. Stoga se primarni mulj, koji dolazi sa otpadnom vodom, ne izdvaja pre bioeracionih bazena.

Tako iz naknadnih taložnika izlazi kombinovani mulj, aerobno stabilizovani primarni mulj i aktivni mulj.

Višak mulja iz naknadnog taložnika se normira sa 0.2 kgSM/m^3 na dan.

Procenjena količina viška mulja iznosi 2 000 kg na dan.

Koncentracija mulja u naknadnom taložniku u ovakvim postrojenjima se normira na 10 kgSM/m^3 , pa očekivana zapremina viška mulja iznosi 200 m^3 na dan.

Radi smanjenja zapremine izdvojenog mulja i povećanja sadržaja suve materije koristi se silos za mulj. Specifično opterećenje silosa za mulj (koncentracija mulja) kreće se od $25\text{--}60\text{ kg SM/m}^2$ na dan u silosu za mulj.

Za usvojeno maseno opterećenje površine silosa 25 kgSM/m^2 na dan, i očekivane količine viška mulja od 2 000 kg na dan potrebna površina silosa iznosi $P=80\text{ m}^2$.

Usvaja se površina silosa od: $P_s = 80\text{ m}^2$.

Usvaja se prečnik silosa od: $D_s = 10\text{ m}$.

Planirano vreme zadržavanja mulja u silosu iznosi 2 dana.

Potrebna zapremina silosa za dvodnevno zadržavanje mulja iznosi: 400 m^3 .

Potrebna visina silosa iznosi: $H = 5\text{ m}$.

– **Dehidracija mulja filter presom**

Stabilizovani mulj se iz silosa za mulj dovodi na filter presu za sušenje mulja. Predviđena je ugradnja ukupno dve filter prese (jedna radna+jedana rezervna). Ugrađuju se filter prese tipa PASSAVANT SIBAMAT serija 2 200. U narednoj tabeli date su karakteristike usvojene filter prese.

FILTER PRESA SIBAMAT - SERIJA 2 200	JEDINICA	VELIČINA
ŠIRINA TRAKE FILTER PRESE	mm	2 000
DUŽINA	m	4.0
ŠIRINA	m	2.55
VISINA	m	1.42
TEŽINA	kg	3 100
AKTIVNA DUŽINA TRAKE FILTER PRESE	m	11.9
AKTIVNA POVRŠINA FILTRA	m ²	23.5
KAPACITET FILTRACIJE	l / m ² · h	200-600
KAPACITET MULJA	m ³ / h	5-10-16

Zapremina silosa za mulj iznosi 400 m³. Mulj se može obraditi za 12.5 časova neprekidnog rada filter prese. Muljne pogače odlažu se u kontejner koji se odnosi na deponiju gde se vrši njegovo finalno odlaganje.

Osim filter prese sastavni deo ovog sistema su i pumpa za mulj "kobasičarka" i posuda za spravljanje i doziranje polielektrolita.

4.3.2. Hidraulički proračun po liniji vode

4.3.2.1. Hidraulički proračun po liniji vode

Ukupne količine otpadnih voda za navedeno postrojenje će biti:

- $Q_{sr}^d = 30\,000 \cdot 250 \text{ l/st na dan} = 7\,500 \text{ m}^3 \text{ na dan} = 86.81 \text{ l/s}$
- $Q_{max}^h = 1.90 \cdot 86.81 = 165.0 \text{ l/s}$
- Usvojen je maksimalni časovni kapacitet $Q_{max}^h = 165.0 \text{ l/s}$.

Hidraulički proračun je sproveden u relativnim kotama, uzimajući za "nultu" kotu (± 0.00) kotu vode u sabirnom bazenu.

– Naknadni taložnik

Hidraulički proračun po liniji vode početak je od obodnog kanala naknadnog taložnika, tako da je sa ∇ -K označena kota vode u obodnom kanalu naknadnog taložnika, što je i početna kota.

$$\begin{aligned} \nabla\text{-NT} &\text{ - kota u naknadnom taložniku} \\ \nabla\text{-NT} &= \nabla\text{-K} + \Delta h \end{aligned}$$

Mora se obezbediti nepotopljeno prelivanje, a za to je dovoljno da nivo donje vode bude niži od krune preliva.

Prema slici 1 hidraulički gubitak na naknadnom taložniku je: $\Delta h = 0.13 + h_p$
Maksimalno očekivana količina vode u obodnom kanalu je:

$$Q_{mer} \text{ (l / s)} = \frac{Q_{max}^h + Q_{rec \text{ mulja}}}{2} = \frac{165.0 + 82.50}{2} = 123.75 \approx 124$$

Prečnik naknadnog taložnika je $D_{NT} = 16.5 \text{ m}$. Dužina prelivne ivice se izračunava iz relacije:

$$B \text{ (m)} = (D_{NT} - 0.5) \cdot \pi = 50.27$$

Maksimalno opterećenje prelivne ivice iznosi:

$$q_p \text{ (l / s} \cdot \text{m')} = \frac{Q_{mer}}{B} = \frac{124.0}{50.27} = 2.47$$

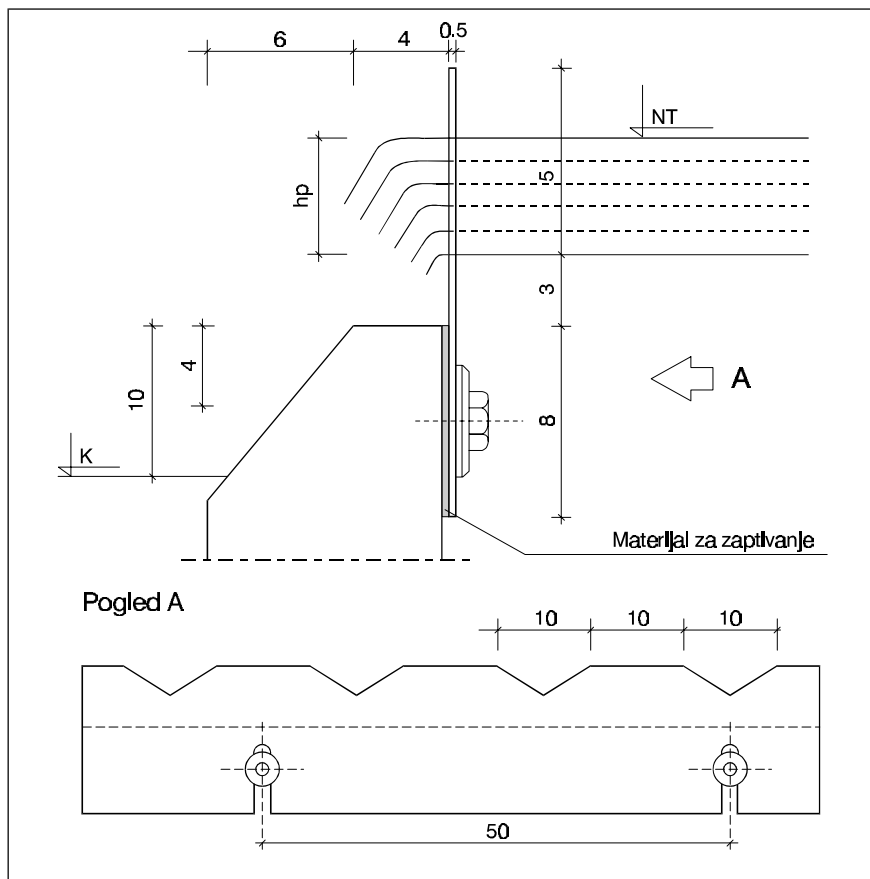
Na osnovu dobijenih vrednosti, prema dijagramu sa slike 2, dobija se visina prelivnog mlaza $h_p = 0.041 \text{ m}$ pa je:

$$\Delta h = 0.13 + 0.041 = 0.171 \text{ m}$$

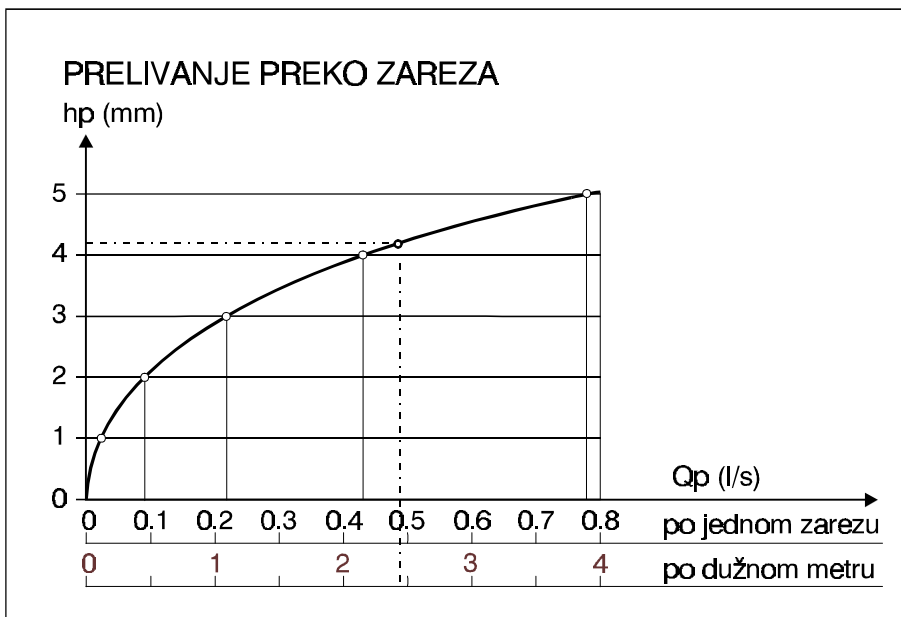
Usvaja se $\Delta h = 0.17 \text{ m}$, pa kota nivoa vode u naknadnom taložniku iznosi:

$$\nabla\text{-NT} = \nabla\text{-K} + 0.17 \text{ m}$$

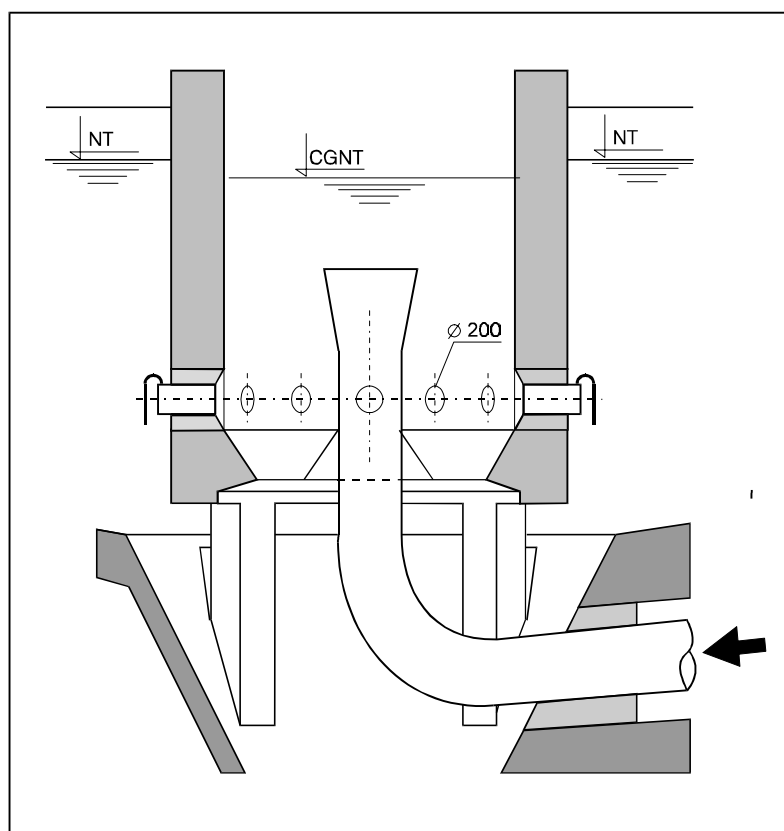
Slika 39 - Detalj - testerasti preliv



Slika 40 - Dijagram zavisnosti visine preliivanja od protoka



Slika 41 - Centralna građevina naknadnog taložnika



Proračun Štengelovih ulaznih elemenata

Tretirana otpadna voda iz bioaeracionog bazena, zajedno sa aktivnim muljem, evakuiraju se preko preliva po obodu bioaeracionog bazena, odakle se sifonskim cevovodom odvodi u centralnu građevinu u naknadnom taložniku.

Na centralnoj građevini naknadnog taložnika nalaze se po obodu postavljene otvori za uvođenje tretirane otpadne vode i aktivnog mulja iz bioaeracionog bazena u naknadni taložnik.

Kota vode u centralnoj građevini naknadnog taložnika je ∇CGNT .

$$\nabla\text{CGNT} = \nabla\text{NT} + \Delta h$$

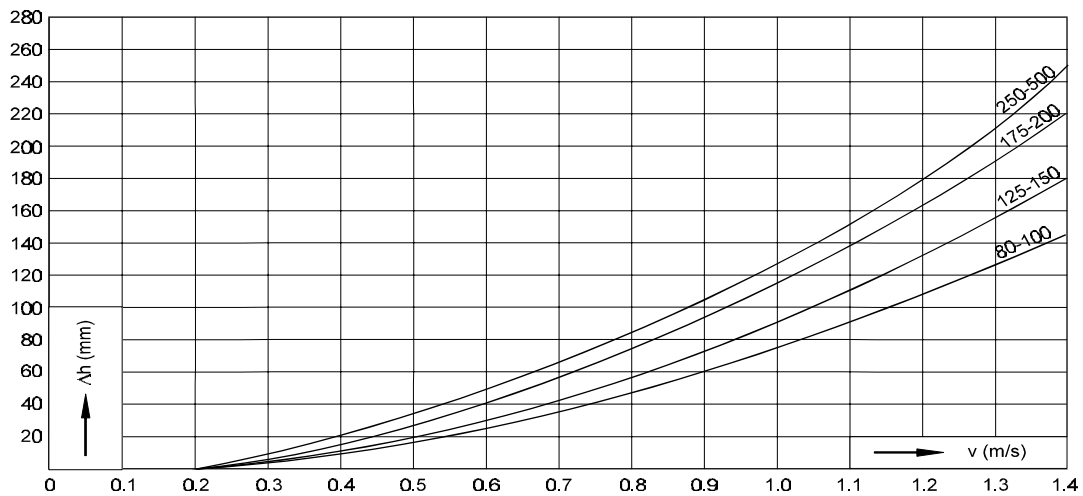
Usvaja se vrednost štengelovog elementa od $\varnothing 200$ mm.

Usvaja se ukupno 8 simetrično postavljenih štengelovih otvora, po 4 otvora po obodu centralne građevine svakog naknadnog taložnika (slika 41).

Prema dijagramu za izračunavanje hidrauličkih gubitaka od naknadnog taložnika do centralne građevine (slika 42), dobija se vrednost brzine isticanja vode kroz 8 otvora (5 otvora po jednom naknadnom taložniku) prečnika $\varnothing 200$ mm:

$$v(\text{m} / \text{s}) = \frac{Q_{\text{mer}}}{A_{\text{otv}}} = \frac{0.124}{5 \cdot 0.2^2 \cdot \pi / 4} = 0.78$$

Slika 42 - Dijagram zavisnosti hidrauličkih gubitaka od brzine kod Stengelovih prstenova



Dobijena brzina isticanja $v = 0.78 \text{ m/s}$ je manja od $v_{\text{doz}} = 0.8 \text{ m/s}$.

Na osnovu dijagrama (slika 42) je $\Delta h = 0.70 \text{ m}$.

Kota nivoa vode u centralnoj građevini naknadnog taložnika iznosi:

$$\nabla \text{CGNT} = \nabla \text{NT} + 0.70 \text{ m}$$

$$\nabla \text{CGNT} = \nabla \text{K} + 0.24 \text{ m}$$

- Bioeracioni bazen

Maksimalno očekivana količina vode u sifonskom cevovodu od bioeracionog bazena do centralnog cilindra naknadnog taložnika (slika 5) je polovina početnog merodavnog proticaja $Q_{\text{mer}} = 0.124 \text{ m}^3/\text{s}$.

Usvaja se sifonski cevovod prečnika $D = 300 \text{ mm}$ i dužine $L = 20.00 \text{ mm}$.

Gubitak pritiska u sifonskom vodu - Δh (m), izračunava se iz izraza:

$$\Delta h = \left(\xi_1 + 2 \cdot \xi_2 + \xi_3 + \lambda \cdot \frac{L}{D} \right) \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$\xi_1 = 0.5$ - koeficijent lokalnog gubitka na ulazu

$\xi_2 = 0.29$ - koeficijent lokalnog gubitka na kolenu 90°

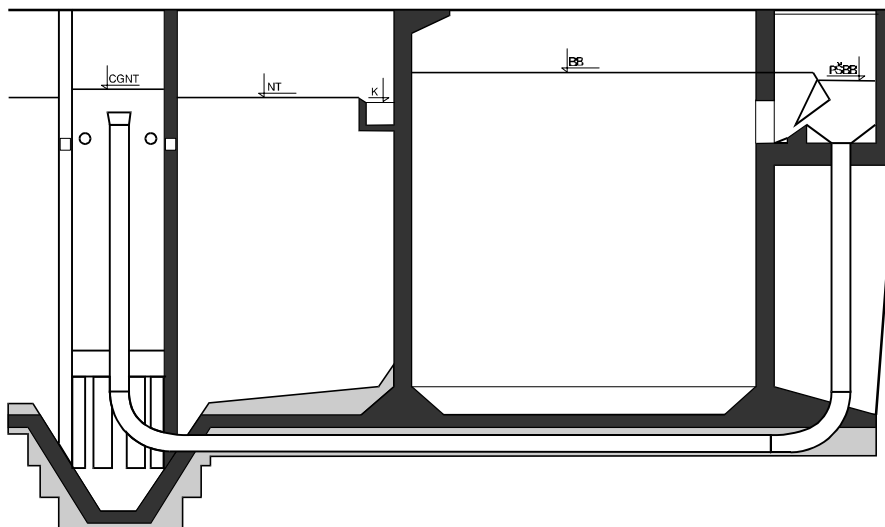
$\xi_3 = 0.5$ - koeficijent lokalnog gubitka na izlazu

$\lambda = 0.038$ - koeficijent linijskog otpora

$$\Delta h(\text{m}) = \left(0.50 + 2 \cdot 0.29 + 0.50 + 0.038 \cdot \frac{20.00}{0.30} \right) \cdot \frac{\left[\frac{0.124}{0.3^2 \cdot \pi} \right]^2}{2 \cdot 9.81} = 0.64 \approx 0.64$$

Usvaja se vrednost gubitka pritiska u sifonskom vodu od $\Delta h = 0.64$ m.

Slika 43 - Detalj - bioaeracioni bazen



Kota nivoa vode u prelivnom šahtu bioaeracionog bazena - ∇ -PŠBB iznosi:

$$\nabla\text{-PŠBB} = \nabla\text{-CGNT} + \Delta h = \nabla\text{-CGNT} + 0.64 \text{ m}$$

$$\nabla\text{-PŠBB} = \nabla\text{-K} + 0.88 \text{ m}$$

Proračun visine preliivanja na podesivom prelivu u bioaeracionom bazenu

Maksimalno očekivana količina vode na ulazu u svaki biološki bazen je polovina početnog maksimalnog proticaja $Q_{\text{mer}} = 0.124 \text{ m}^3/\text{s}$.

Usvaja se dužina prelivne brane od $b = 1.00$ m.

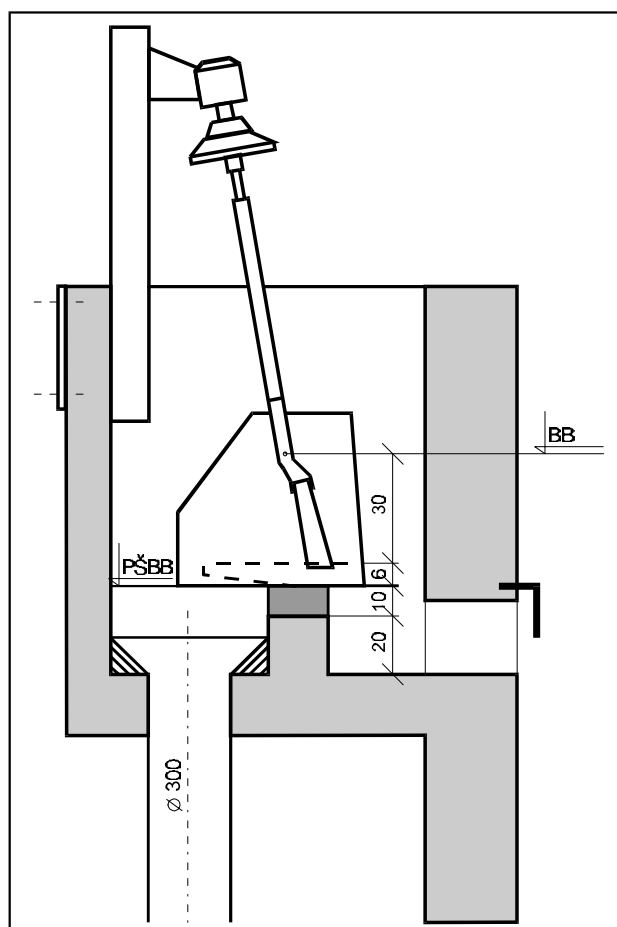
Za koeficijent proticaja $\mu = 0.46$, potrebna visina preliivanja iz bioaeracionog bazena iznosi:

$$H(\text{m}) = \left(\frac{Q_{\text{mer}}}{C_p \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{2/3} = \left(\frac{0.124}{0.46 \cdot 1 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81}} \right)^{2/3} = 0.155 \approx 0.16$$

Kota nivoa vode u bioaeracionom bazenu iznosi:

$$\nabla\text{-BB} = \nabla\text{-PŠBB} + \Delta h$$

Slika 44 - Regulatorni preliv



Sada je hidraulički gubitak na prelivu:

$$\Delta h = 0.06 \text{ m} + 0.30 \text{ m} + h_p = 0.06 \text{ m} + 0.30 \text{ m} + 0.16 \text{ m} = 0.52 \text{ m}$$

Kota nivoa vode u bioaeracionom bazenu iznosi:

$$\begin{aligned} \nabla \text{BB} &= \nabla \text{PŠBB} + 0.52 \text{ m} \\ \nabla \text{BB} &= \nabla \text{K} + 1.40 \text{ m} \end{aligned}$$

4.3.2. Hidraulički proračun po liniji vode

4.3.2.1. Hidraulički proračun po liniji vode

Ukupne količine otpadnih voda za navedeno postrojenje će biti:

- $Q_{sr}^d = 30\,000 \cdot 250 \text{ l/st na dan} = 7\,500 \text{ m}^3 \text{ na dan} = 86.81 \text{ l/s}$
- $Q_{max}^h = 1.90 \cdot 86.81 = 165.0 \text{ l/s}$
- Usvojen je maksimalni časovni kapacitet $Q_{max}^h = 165.0 \text{ l/s}$.

Hidraulički proračun je sproveden u relativnim kotama, uzimajući za "nultu" kotu (± 0.00) kotu vode u sabirnom bazenu.

– Naknadni taložnik

Hidraulički proračun po liniji vode početak je od obodnog kanala naknadnog taložnika, tako da je sa ∇ -K označena kota vode u obodnom kanalu naknadnog taložnika, što je i početna kota.

$$\begin{aligned} \nabla\text{-NT} &\text{ - kota u naknadnom taložniku} \\ \nabla\text{-NT} &= \nabla\text{-K} + \Delta h \end{aligned}$$

Mora se obezbediti nepotopljeno prelivanje, a za to je dovoljno da nivo donje vode bude niži od krune preliva.

Prema slici 1 hidraulički gubitak na naknadnom taložniku je: $\Delta h = 0.13 + h_p$
Maksimalno očekivana količina vode u obodnom kanalu je:

$$Q_{mer} \text{ (l / s)} = \frac{Q_{max}^h + Q_{rec\ mu\ lija}}{2} = \frac{165.0 + 82.50}{2} = 123.75 \approx 124$$

Prečnik naknadnog taložnika je $D_{NT} = 16.5 \text{ m}$. Dužina prelivne ivice se izračunava iz relacije:

$$B \text{ (m)} = (D_{NT} - 0.5) \cdot \pi = 50.27$$

Maksimalno opterećenje prelivne ivice iznosi:

$$q_p \text{ (l / s} \cdot \text{m')} = \frac{Q_{mer}}{B} = \frac{124.0}{50.27} = 2.47$$

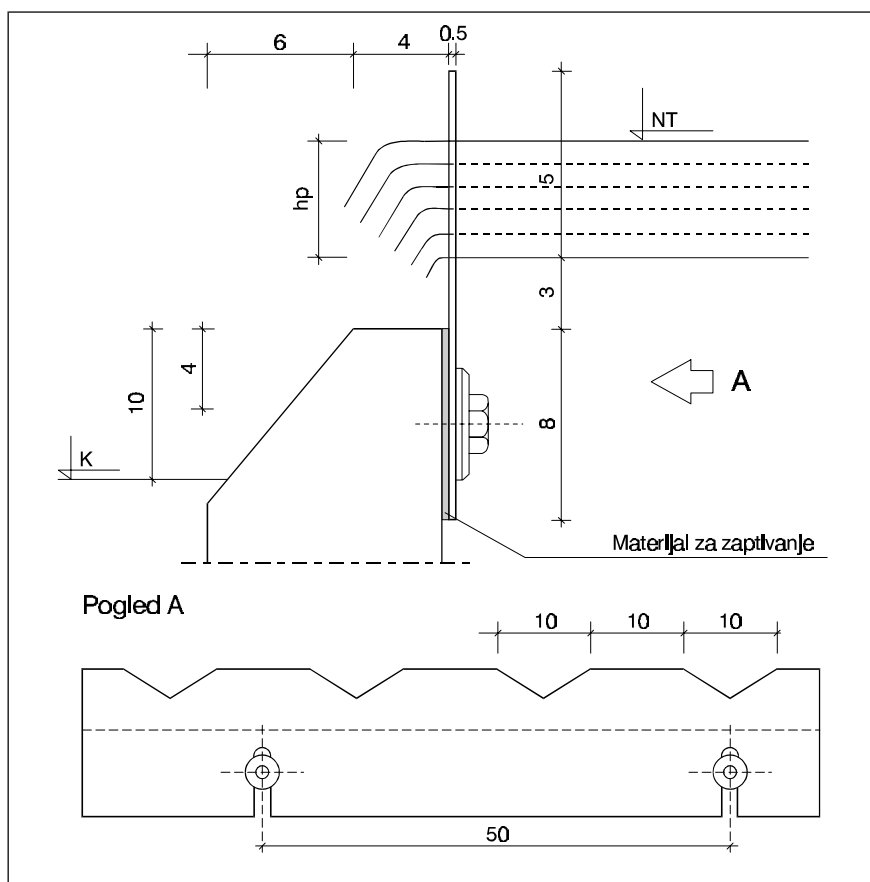
Na osnovu dobijenih vrednosti, prema dijagramu sa slike 2, dobija se visina prelivnog mlaza $h_p = 0.041 \text{ m}$ pa je:

$$\Delta h = 0.13 + 0.041 = 0.171 \text{ m}$$

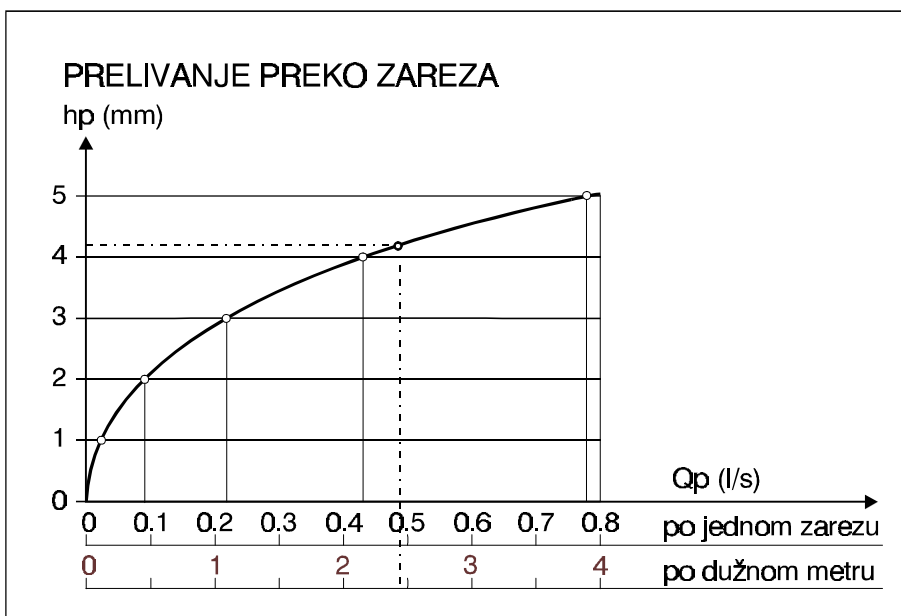
Usvaja se $\Delta h = 0.17 \text{ m}$, pa kota nivoa vode u naknadnom taložniku iznosi:

$$\nabla\text{-NT} = \nabla\text{-K} + 0.17 \text{ m}$$

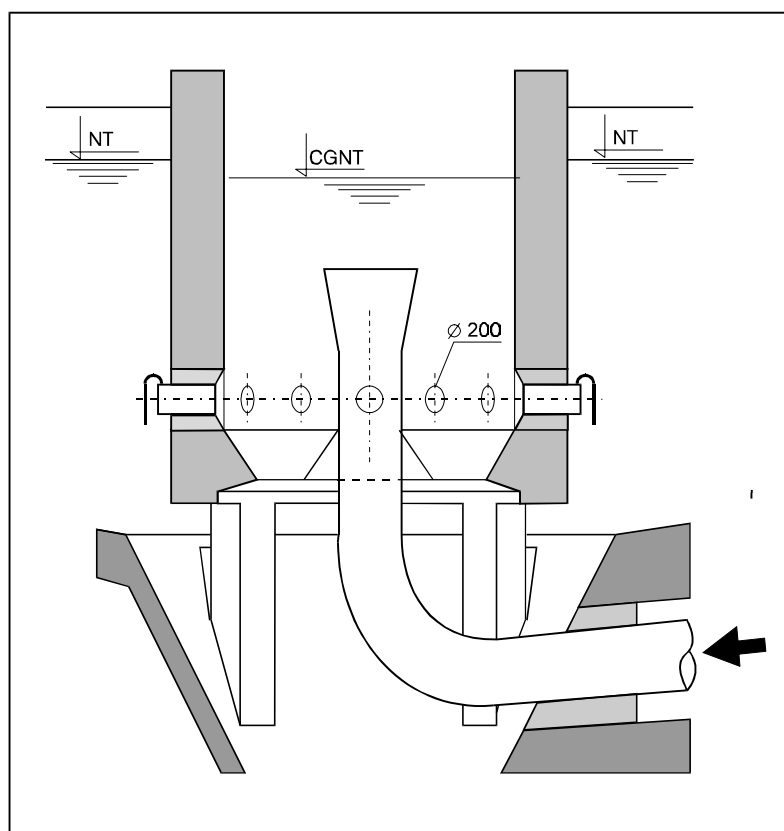
Slika 39 - Detalj - testerasti preliv



Slika 40 - Dijagram zavisnosti visine preliivanja od protoka



Slika 41 - Centralna građevina naknadnog taložnika



Proračun Štengelovih ulaznih elemenata

Tretirana otpadna voda iz bioaeracionog bazena, zajedno sa aktivnim muljem, evakuiraju se preko preliva po obodu bioaeracionog bazena, odakle se sifonskim cevovodom odvodi u centralnu građevinu u naknadnom taložniku.

Na centralnoj građevini naknadnog taložnika nalaze se po obodu postavljeni otvori za uvođenje tretirane otpadne vode i aktivnog mulja iz bioaeracionog bazena u naknadni taložnik.

Kota vode u centralnoj građevini naknadnog taložnika je ∇CGNT .

$$\nabla\text{CGNT} = \nabla\text{NT} + \Delta h$$

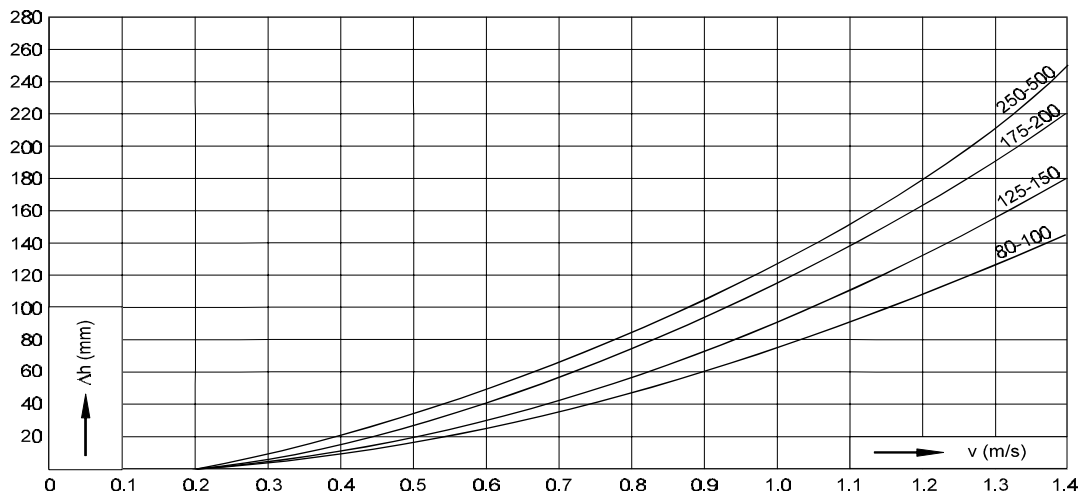
Usvaja se vrednost Štengelovog elementa od $\varnothing 200$ mm.

Usvaja se ukupno 8 simetrično postavljenih Štengelovih otvora, po 4 otvora po obodu centralne građevine svakog naknadnog taložnika (slika 41).

Prema dijagramu za izračunavanje hidrauličkih gubitaka od naknadnog taložnika do centralne građevine (slika 42), dobija se vrednost brzine isticanja vode kroz 8 otvora (5 otvora po jednom naknadnom taložniku) prečnika $\varnothing 200$ mm:

$$v(\text{m / s}) = \frac{Q_{\text{mer}}}{A_{\text{otv}}} = \frac{0.124}{5 \cdot 0.2^2 \cdot \pi / 4} = 0.78$$

Slika 42 - Dijagram zavisnosti hidrauličkih gubitaka od brzine kod Stengelovih prstenova



Dobijena brzina isticanja $v = 0.78 \text{ m/s}$ je manja od $v_{\text{doz}} = 0.8 \text{ m/s}$.

Na osnovu dijagrama (slika 42) je $\Delta h = 0.70 \text{ m}$.

Kota nivoa vode u centralnoj građevini naknadnog taložnika iznosi:

$$\nabla \text{CGNT} = \nabla \text{NT} + 0.70 \text{ m}$$

$$\nabla \text{CGNT} = \nabla \text{K} + 0.24 \text{ m}$$

- Bioeracioni bazen

Maksimalno očekivana količina vode u sifonskom cevovodu od bioeracionog bazena do centralnog cilindra naknadnog taložnika (slika 5) je polovina početnog merodavnog proticaja $Q_{\text{mer}} = 0.124 \text{ m}^3/\text{s}$.

Usvaja se sifonski cevovod prečnika $D = 300 \text{ mm}$ i dužine $L = 20.00 \text{ mm}$.

Gubitak pritiska u sifonskom vodu - Δh (m), izračunava se iz izraza:

$$\Delta h = \left(\xi_1 + 2 \cdot \xi_2 + \xi_3 + \lambda \cdot \frac{L}{D} \right) \cdot \frac{v^2}{2g}$$

$\xi_1 = 0.5$ - koeficijent lokalnog gubitka na ulazu

$\xi_2 = 0.29$ - koeficijent lokalnog gubitka na kolenu 90°

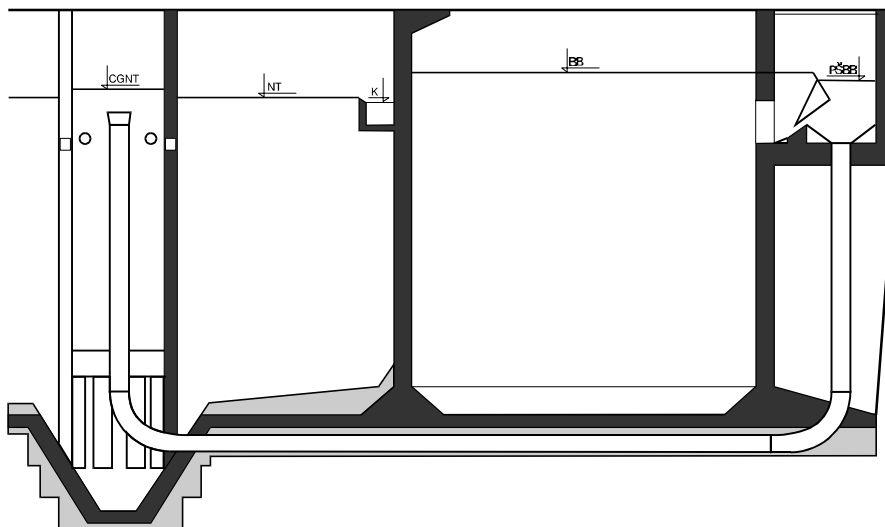
$\xi_3 = 0.5$ - koeficijent lokalnog gubitka na izlazu

$\lambda = 0.038$ - koeficijent linijskog otpora

$$\Delta h(\text{m}) = \left(0.50 + 2 \cdot 0.29 + 0.50 + 0.038 \cdot \frac{20.00}{0.30} \right) \cdot \frac{\left[\frac{0.124}{0.3^2 \cdot \pi} \right]^2}{2 \cdot 9.81} = 0.64 \approx 0.64$$

Usvaja se vrednost gubitka pritiska u sifonskom vodu od $\Delta h = 0.64$ m.

Slika 43 - Detalj - bioaeracioni bazen



Kota nivoa vode u prelivnom šahtu bioaeracionog bazena - ∇ -PŠBB iznosi:

$$\nabla\text{-PŠBB} = \nabla\text{-CGNT} + \Delta h = \nabla\text{-CGNT} + 0.64 \text{ m}$$

$$\nabla\text{-PŠBB} = \nabla\text{-K} + 0.88 \text{ m}$$

Proračun visine preliivanja na podesivom prelivu u bioaeracionom bazenu

Maksimalno očekivana količina vode na ulazu u svaki biološki bazen je polovina početnog maksimalnog proticaja $Q_{\text{mer}} = 0.124 \text{ m}^3/\text{s}$.

Usvaja se dužina prelivne brane od $b = 1.00$ m.

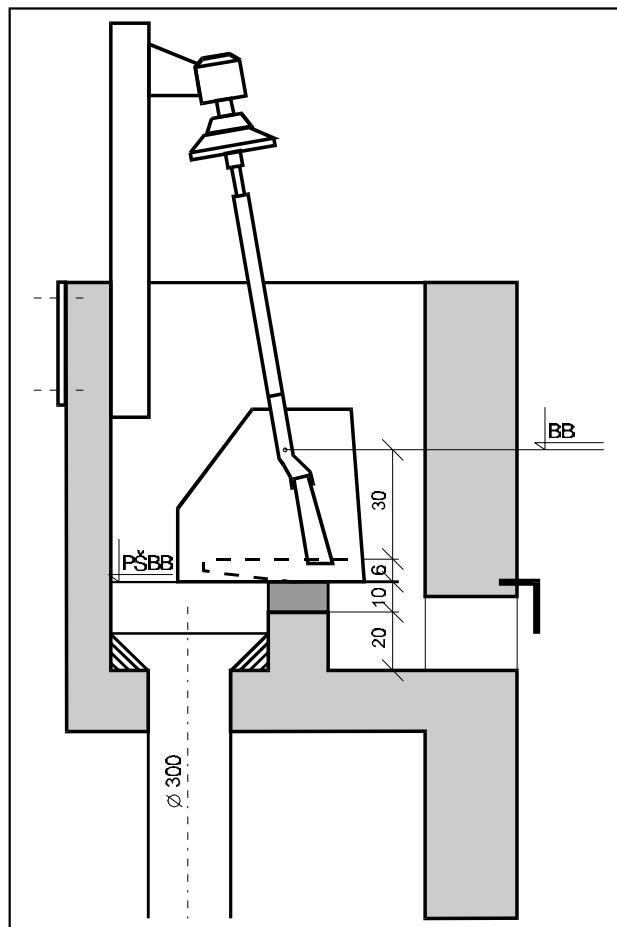
Za koeficijent proticaja $\mu = 0.46$, potrebna visina preliivanja iz bioaeracionog bazena iznosi:

$$H(\text{m}) = \left(\frac{Q_{\text{mer}}}{C_p \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{2/3} = \left(\frac{0.124}{0.46 \cdot 1 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81}} \right)^{2/3} = 0.155 \approx 0.16$$

Kota nivoa vode u bioaeracionom bazenu iznosi:

$$\nabla\text{-BB} = \nabla\text{-PŠBB} + \Delta h$$

Slika 44 - Regulatorni preliv



Sada je hidraulički gubitak na prelivu:

$$\Delta h = 0.06 \text{ m} + 0.30 \text{ m} + h_p = 0.06 \text{ m} + 0.30 \text{ m} + 0.16 \text{ m} = 0.52 \text{ m}$$

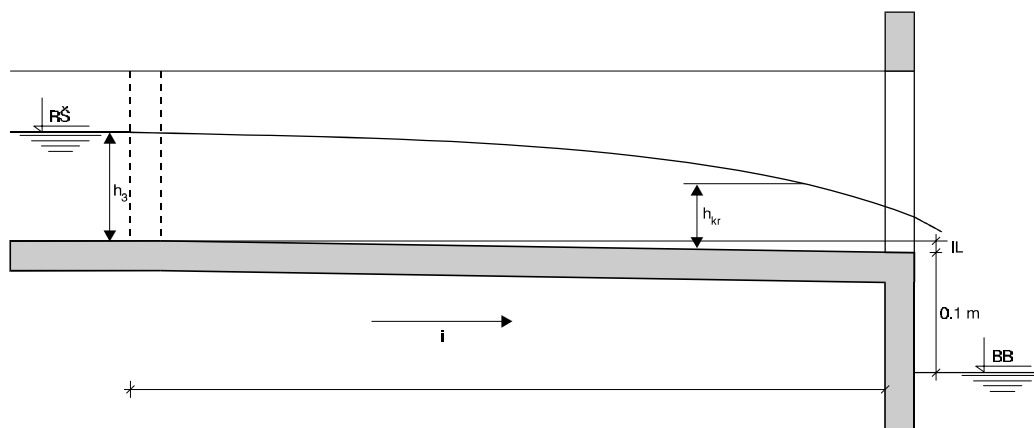
Kota nivoa vode u bioaeracionom bazenu iznosi:

$$\begin{aligned} \nabla \text{BB} &= \nabla \text{PŠBB} + 0.52 \text{ m} \\ \nabla \text{BB} &= \nabla \text{K} + 1.40 \text{ m} \end{aligned}$$

– Proračun kanala od razdelne šahte do bioaeracionog bazena

Kota nivoa vode u razdelnom šahtu je \sphericalangle RŠ .

Slika 45 - Kanal od razdelne šahte do bioaeracionog bazena



Prema slici 45, vidi se da je kota u razdelnom šahtu:

$$\sphericalangle \text{RŠ} = \sphericalangle \text{BB} + \Delta h$$

Ukupni hidraulički gubitak u kanalu - Δh , iznosi:

$$\Delta h = 0.10 \text{ m} + \Delta h_L + h_3$$

Za usvojeni pad kanala od $i = 3\text{‰}$, kao i dužinu kanala $L = 15 \text{ m}$, dobijamo linijske gubitke duž kanala:

$$\Delta h_L = i \cdot L = 0.003 \cdot 15 = 0.045 \approx 0.5 \text{ m}$$

Kritična dubina vode, sa kojom voda iz kanala izlazi u bioaeracioni bazen, proračunava se iz izraza:

$$h_{kr} \text{ (m)} = \sqrt[3]{\frac{Q_{\max}^2}{g \cdot b^2}} = \sqrt[3]{\frac{0.165^2}{g \cdot 0.4^2}} = 0.26$$

Dubina vode iza mernog kanala iznosi: $h_3 = 0.44 \text{ m}$ (iz hidrauličkog proračuna mernog objekta datog u nastavku). Tako je ukupni hidraulički gubitak u kanalu:

$$\Delta h = 0.10 + 0.05 + 0.44 = 0.59 \text{ m}$$

Kota nivoa vode u razdelnom šahtu iznosi:

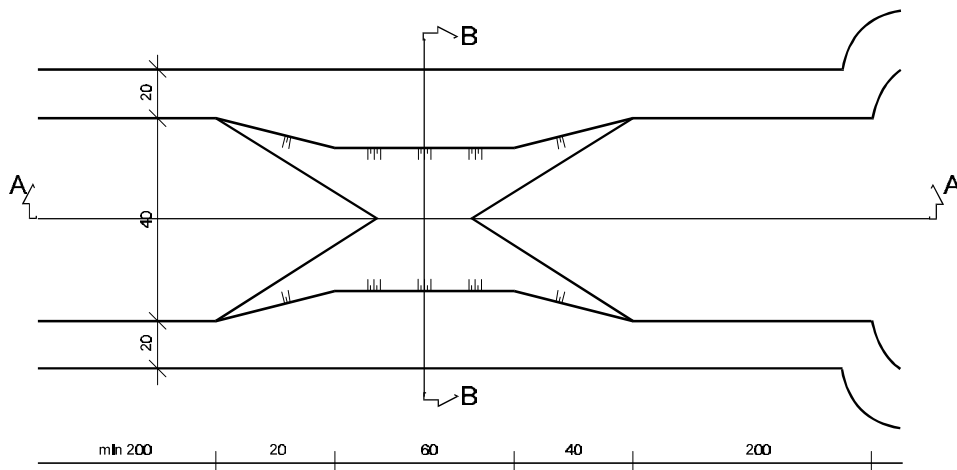
$$\begin{aligned} \sphericalangle \text{RŠ} &= \sphericalangle \text{BB} + 0.59 \text{ m} \\ \sphericalangle \text{RŠ} &= \sphericalangle \text{K} + 1.99 \text{ m} \end{aligned}$$

– Proračun gubitka visine na mernom kanalu

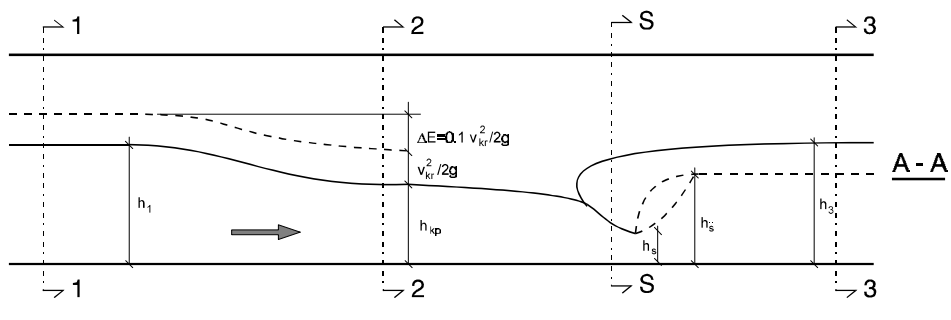
Kota nivoa vode na ulazu u merni kanal je ∇ -MK.

$$\nabla$$
-MK = ∇ -RŠ + Δh

Slika 46 - Merni kanal - osnova i podužni presek



PRESEK A - A



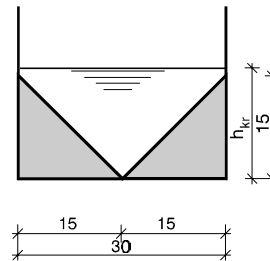
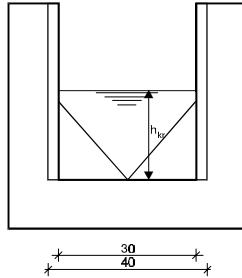
NAPOMENA: Proračun je sproveden za merni kanal kod koga se merenje protoka vrši merenjem dve dubine: h_1 i h_{kr} . U realnim uslovima merenjem ove dve dubine na mernom kanalu dobija se rezultat koji ne zavisi od toga da li je u suženju ostvarena kritična dubina h_{kr} , ili ne. Praksa je pokazala da je postizanje kritične dubine u suženju neizvesno i zavisi od mnogo faktora (način izvođenja, ekstremi protoka, ...).

Ukoliko se ipak želi ostvariti jednoznačna veza između dubine i protok, merenjem samo dubine u suženju, za primer kako se vrši dimenzionisanje, pogledati u Literaturi naznačenu publikaciju pod rednim brojem 44.

Slika 47 - Poprečni presek

Slika 48 - Dimenzije preseka

PRESEK B - B



Gubitak visine na meraču protoka

Maksimalno očekivana količina vode u kanalu merača protoka je $Q_{\max}^h = 0.165 \text{ m}^3/\text{s}$. Usvojen je merni kanal širine $b = 300 \text{ mm}$. Za određivanje kritične dubine u kanalu merača protoka koristi se Frudov broj:

$$F_R = 1 = \frac{Q_{\max}^h \cdot B}{g \cdot A_{kr}^3}$$

$B = b$ - širina vodenog ogledala

Poprečni presek za kritičnu dubinu iznosi:

$$A_{kr} (\text{m}^2) = B \cdot \left(h_{kr} - \frac{B}{2} \right) + \left(\frac{B}{2} \right)^2 = 0.3 \cdot (h_{kr} - 0.15) + 0.15^2 =$$

$$= 0.3 \cdot h_{kr} - 0.3 \cdot 0.15 + 0.15^2 = 0.3 \cdot h_{kr} - 0.0225$$

$$F_R = 1 = \frac{0.165^2 \cdot 0.30}{g \cdot (0.30 \cdot h_{kr} - 0.0225)^3}$$

$$h_{kr} (\text{m}) = \frac{\sqrt[3]{\frac{0.165^2 \cdot 0.30}{g}} + 0.0225}{0.30} = 0.39 \Rightarrow A_{kr} (\text{m}^2) = 0.3 \cdot 0.39 - 0.0225 = 0.094$$

Kritična brzina proticaja iznosi:

$$v_{kr} (\text{m} / \text{s}) = \frac{Q_{\max}^h}{A_{kr}} = \frac{0.165}{0.094} = 1.75$$

Bernulijeva jednačina za preseke 1-1 i 2-2 iznosi:

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = h_{kr} + \frac{v_{kr}^2}{2 \cdot g} + 0.1 \cdot \frac{v_{kr}^2}{2 \cdot g}$$

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = 0.39 + 1.1 \cdot \frac{1.75^2}{2 \cdot g} = 0.563 \text{ m}$$

$$h_1 = 0.563 - \frac{v_1^2}{2 \cdot g}$$

$$h_1 \cdot b_1 \cdot v_1 = Q_{\max}^h$$

$$b_1 \text{ (m)} = 0.4$$

$$h_1 \cdot v_1 = \frac{Q_{\max}^h}{b_1} = \frac{0.165}{0.40} = 0.4125$$

$$0.563 \cdot v_1 - \frac{v_1^3}{2 \cdot g} - 0.4125 = 0$$

$$v_1 = 0.77 \text{ m / s}$$

Iz prethodnih relacija se dobija da dubina kanala u preseku 1-1, h_1 iznosi:

$$h_1 = 0.536 \text{ m} \approx 0.54 \text{ m}$$

Bernulijeva jednačina za preseke 2-2 i S-S iznosi:

$$h_{kr} + \frac{v_{kr}^2}{2 \cdot g} = h_s + \frac{v_s^2}{2 \cdot g} + 0.15 \cdot \frac{v_s^2}{2 \cdot g}$$

$$h_s + 1.15 \cdot \frac{v_s^2}{2 \cdot g} = h_{kr} + \frac{v_{kr}^2}{2 \cdot g} = 0.546 \text{ m}$$

$$h_s = 0.546 - 1.15 \cdot \frac{v_s^2}{2 \cdot g}$$

$$v_{kr} \cdot A_{kr} = b_3 \cdot h_s \cdot v_s$$

$$h_s \cdot v_s = \frac{v_{kr} \cdot A_{kr}}{b_3} = \frac{1.75 \cdot (0.3 \cdot 0.39 - 0.0225)}{0.40} = 0.413$$

$$0.546 \cdot v_s - 1.15 \cdot \frac{v_s^3}{2 \cdot g} - 0.413 = 0$$

$$v_s = 2.56 \text{ m / s}$$

Iz prethodnih relacija se dobija da dubina kanala - h_s u preseku S-S iznosi:

$$h_s = 0.16 \text{ m} < h_{kr} = 0.93 \text{ m}$$

Kritična dubina u preseku 3-3 iznosi:

$$h_{kr_3} \text{ (m)} = \sqrt[3]{\frac{Q_{\max}^h}{g \cdot b_3^2}} = \sqrt[3]{\frac{0.165}{g \cdot 0.40^2}} = 0.259$$

Konjugovana spregnuta dubina hidrauličkog skoka - h_s'' u preseku S-S iznosi:

$$h_s'' = \frac{h_s}{2} \cdot \left[\sqrt{1 + 8 \cdot \frac{Q_{\max}^h}{g \cdot b_3^2 \cdot h_s^3}} - 1 \right] = \frac{0.16}{2} \cdot \left[\sqrt{1 + 8 \cdot \frac{0.165}{g \cdot 0.40^2 \cdot 0.16^3}} - 1 \right] = 0.392$$

Konjugovana spregnuta dubina mora biti veća od kritične dubine : $h_s'' > h_{kr3}$

Uslov koji osigurava potopljenost hidrauličkog skoka je da dubina u preseku 3-3 iznosi:

$$h_3 \geq 1.1h_s'' = 0.432 \approx 0.44 \text{ m}$$

Razlika nivoa - Δh u prescima 1-1 i 3-3 iznosi:

$$\Delta h = 0.54 - 0.44 = 0.10 \text{ m}$$

Kota nivoa vode u mernom kanalu iznosi:

$$\begin{aligned} \nabla \text{MK} &= \nabla \text{RŠ} + \Delta h = \nabla \text{RŠ} + 0.10 \text{ m} \\ \nabla \text{MK} &= \nabla \text{K} + 0.83 \text{ m} \end{aligned}$$

– Aerisani peskolov

Maksimalno hidrauličko opterećenje peskolova biće $Q_{\max}^h = 0.165 \text{ m}^3/\text{s}$. Kota nivoa vode na ulazu u peskolov je:

$$\nabla \text{PESK} = \nabla \text{MK} + \Delta h$$

Bernulijeva jednačina za peskolov za presek 1-1 glasi:

$$h + \frac{v^2}{2 \cdot g} = h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + 2.5 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

v - ulazna brzina u peskolov

$$h - 1.5 \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = 0.566$$

$$v \cdot h \cdot b = Q_{\max}^h$$

$$v \cdot h = \frac{0.165}{0.40} = 0.4125$$

$$v \cdot h = 0.566 \cdot v + 1.5 \cdot \frac{v^3}{2 \cdot g} = 0.4125$$

Iz navedenih relacija se dobija ulazna brzina u peskolov: $v=0.69 \text{ m/s}$

Dubina vode u peskolovu iznosi:

$$h=0.60 \text{ m}$$

Razlika nivoa vode u peskolovu i preseku 1-1 iznosi:

$$\Delta h = h - h_1 = 0.60 - 0.54 = 0.06 \text{ m}$$

Kota nivoa vode u peskolovu iznosi:

$$\begin{aligned} \nabla \text{PESK} &= \nabla \text{MK} + 0.06 \text{ m} \\ \nabla \text{PESK} &= \nabla \text{K} + 2.15 \text{ m} \end{aligned}$$

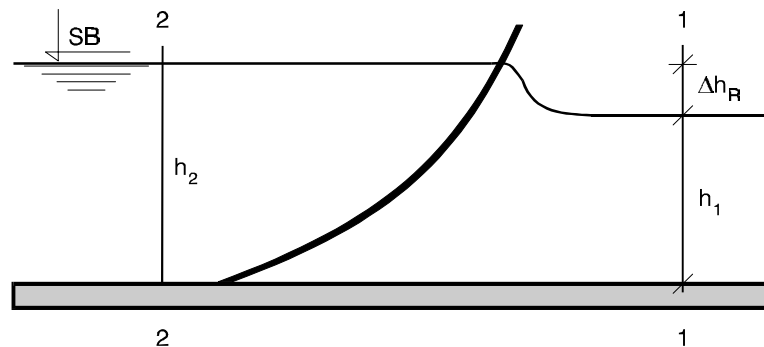
- **automatska lučna rešetka**

Kota nivoa vode u kanalu iza sabirnog bazena - ∇ -SB (kota na koju se voda dovodi potisnim kanalizacionim cevovodom), jednaka je koti peskolova - ∇ -PESK, uvećanoj za hidraulički gubitak na automatskoj rešetki - $\Delta h = \Delta h_R$.

$$\nabla\text{-SB} = \nabla\text{-PESK} + \Delta h$$

$\Delta h = \Delta h_R$ - gubitak na automatskoj rešetki.

Slika 49 - Šema automatske rešetke u preseku



Bernulijeva jednačina za dva preseka, presek 1-1 i presek 2-2, glasi:

$$h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + \Delta h$$

$$\Delta h = h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} - h_1 - \frac{v_1^2}{2 \cdot g} \quad 1.$$

Jednačina kontinuiteta za presek kroz rešetku glasi:

$$v_2 \cdot A_2 = Q_{\max}^h$$

$$v_2 \cdot h_2 \cdot n \cdot b \cdot K_R = Q_{\max}^h \quad 2.$$

n- broj otvora

b- širina otvora (razmak između šipki)

K_R - koeficijent kontrakcije

Broj otvora na rešetki zavisi od širine kanala - $B=0.40$ m, razmaka između šipki - $b=0.02$ m i debljine šipke rešetke - $\delta=0.01$ m.

Za usvojene vrednosti broj šipki iznosi:

$$n = \frac{B}{\delta + b} = \frac{0.40}{0.01 + 0.02} = 13$$

Pri određivanju hidrauličkog gubitka na rešetki polazi se od maksimalnog proticaja kroz rešetku.

$$Q_{\max}^h = v_2 \cdot h_2 \cdot n \cdot b \cdot K_R$$

$K_R=0.82$ - koeficijent kontrakcije

$$v_2 \cdot h_2 = \frac{0.165}{13 \cdot 0.02 \cdot 0.82} = 0.774$$

$$v_2 \cdot h_2 = (A)$$

Jednačina za hidraulički gubitak na rešetki iznosi:

$$\Delta h = \xi_R \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \quad 3.$$

$$\xi_R = \beta \cdot (\delta / b)^{4/3} \cdot K \cdot \sin \theta$$

β - koeficijent zavisan od oblika poprečnog preseka šipki rešetke (2.42 i prav ugao)

δ - debljina šipke

b - razmak između šipki

K - koeficijent začepljenja rešetke ($K=3$)

θ - ugao nagiba rešetke prema horizontali ($60-90^\circ$)

Iz jednačina (1), (2) i (3) dobijaju se: brzina proticaja - v_2 , visina sloja - h_2 iza lučne rešetke, kao i hidraulički gubitak na lučnoj rešetki - Δh .

1) Transformisana jednačina (1)

$$\Delta h = h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} - h_1 - \frac{v_1^2}{2 \cdot g}$$

$h_1 = h_N = 0.60$ m - normalna dubina kanala

$$v_1 \text{ (m / s)} = \frac{Q_{\max}^h}{A_1} = \frac{0.165}{0.40 \cdot 0.60} = 0.69$$

$$\Delta h = h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} - 0.60 - \frac{0.69^2}{2 \cdot g}$$

$$(B) = 0.60 + \frac{0.69^2}{2 \cdot g} = 0.6243$$

$$\Delta h = h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} - (B) \quad 1'$$

2) Transformisana jednačina (2)

$$v_2 \cdot h_2 = (A) \quad 2'$$

3) Transformisana jednačina (3)

$$\Delta h = \xi_R \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g}$$

$$\xi_R = \beta \cdot (\delta / b)^{4/3} \cdot 3 \cdot \sin(90) = 2.42 \cdot (0.01 / 0.02)^{4/3} \cdot 3 \cdot 1 = (C) = 2.881$$

$$\Delta h = (C) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \quad 3'$$

Zamenom jednačina (3') u (1') dobijaju se relacije:

$$(C) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = h + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = h_2 - (B)$$

$$[(C) - 1] \cdot \frac{v_2^2}{2g} = h_2 - (B)$$

Zamenom vrednosti h_2 iz jednačine (2') u gornjoj relaciji dobijaju se tražene vrednosti v_2 , h_2 i Δh .

$$h_2 = \frac{(A)}{v_2}$$

$$(C_1) = (C) - 1 = 2.881 - 1 = 1.881$$

$$(C_1) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = \frac{(A)}{v_2} - (B)$$

$$(C_1) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} - \frac{(A)}{v_2} + (B) = 0$$

Zamenom poznatih vrednosti za (C_1) , (A) i (B) u navedenom izrazu dobija se:

$$v_2 = 1.06 \text{ m/s}$$

Zamenom dobijene vrednosti za v_2 u jednačini (2') dobija se:

$$h_2 = 0.73 \text{ m}$$

Na kraju, zamenom svih vrednosti u izrazu (1'), ili (3'), dobija se traženi hidraulički gubitak na lučnoj rešetki:

$$\Delta h = 0.165 \text{ m} \approx 0.17 \text{ m}$$

Kota nivoa vode u kanalu na ulazu u postrojenje iznosi:

$$\sphericalangle \text{SB} = \sphericalangle \text{PESK} + \Delta h = \sphericalangle \text{PESK} + 0.17 \text{ m}$$

$$\sphericalangle \text{SB} = \sphericalangle \text{R} + 2.32 \text{ m}$$

– **Raspodela kota na liniji vode**

Kada se za relativnu kotu ± 0.00 usvoji kota na kojoj je potrebno, pod pritiskom iz kanalizacionog cevovoda, dovesti vodu na ulaz u postrojenju, tada se dobija sledeća raspodela kota objekata i postrojenja:

referentna kota (kanal iza sabirnog bazena):	$\nabla\text{SB} = (+2.32)$	$\Rightarrow \pm 0.00 \text{ m}$
kota peskolova:	$\nabla\text{PESK} = (+2.51)$	$\Rightarrow - 0.17 \text{ m}$
kota mernog kanala:	$\nabla\text{MK} = (+2.09)$	$\Rightarrow - 0.23 \text{ m}$
kota razdelnog šahta:	$\nabla\text{RŠ} = (+1.99)$	$\Rightarrow - 0.33 \text{ m}$
kota bioloških bazena:	$\nabla\text{BB} = (+1.40)$	$\Rightarrow - 0.92 \text{ m}$
kota prelivnog šahta bioloških bazena:	$\nabla\text{PŠBB} = (+0.88)$	$\Rightarrow - 1.44 \text{ m}$
kota centralne građevine naknadnog taložnika:	$\nabla\text{CGNT} = (+0.24)$	$\Rightarrow - 2.08 \text{ m}$
kota naknadnih taložnika:	$\nabla\text{NT} = (+0.17)$	$\Rightarrow - 2.15 \text{ m}$
kota obodnog kanala naknadnog taložnika:	$\nabla\text{K} = (\pm 0.00)$	$\Rightarrow - 2.32 \text{ m}$

4.3.3. Hidraulički proračun po liniji mulja

1) Prema hidrauličkom proračunu po liniji vode je dobijeno da je kota u centralnoj građevini naknadnog taložnika:

$$\nabla\text{CGNT} = - 2.08 \text{ m}$$

2) Kota u muljnoj crpnoj stanici iznosi:

$$\nabla\text{MCS} = \nabla\text{CGNT} - \Delta h$$

Mulj gravitaciono dolazi u muljnu crpnu stanicu cevovodom $\varnothing 300$ pa se dobije veoma mali, odnosno zanemarljiv hidraulički gubitak ($\Delta h \cong 0$), pa je na osnovu toga:

$$\nabla\text{MCS} = \nabla\text{CGNT} = - 2.08 \text{ m}$$

3) Kota u silosu za mulj (maksimalna kota cevovoda kojim muljna pumpa potiskuje mulj u silos) iznosi:

$$\nabla\text{SM} = 2.00 \text{ m}$$

5. VELIKA POSTROJENJA

5.1. Opseg kapaciteta i fleksibilnost postrojenja

Postrojenja za tretman komunalnih otpadnih voda, hidrauličkih opterećenja u opsegu od 50 000 - 100 000 ES, mogu se primenjivati za najveći broj velikih gradskih zajednica sa industrijskim objektima značajnih kapaciteta, kao i srednjih gradskih zajednica sa industrijskim objektima veoma visokih kapaciteta, naročito prehrambene industrije.

Opterećenja od preko 100 000 ES nisu praktična u našoj zemlji, najviše sa aspekta mogućnosti organizovanja kanalizacionih kolektora. Kod gradskih zajednica sa velikim ekvivalentima, preko 250 000 ES, kao što su Novi Sad, Niš, Priština i slično, koji su mahom stari gradovi sa već postojećim kanalizacionim strukturama, postoji po nekoliko nezavisnih kanalizacionih sistema, pa čak i sa potpuno odvojenim izlivnim sistemima, mahom na različitim lokacijama recipijenta, a ne retko i u različite recipijente.

Ovo daje mogućnost da se problemi prečišćavanja kanalizacionih otpadnih voda mogu rešavati na nekoliko kolektorskih pozicija sa postrojenjima kapaciteta 100 000 ES.

Najkompleksniji problem ovog tipa ima grad Beograd.

Problematika kolektorskih sistema koji postoje u okviru grada Beograda se mora rešavati nezavisno, odnosno, ne može se tipizirati postrojenje, koje bi se postavilo u Beogradu.

Nije daleko od realnosti da će se na poziciji grada Beograda, na mnogobrojnim kolektorskim pozicijama, moći primeniti sva navedena postrojenja u ovoj publikaciji, kao i to da će se za određene kolektorske pozicije postavljati i veća postrojenja, mogućih kapaciteta od 250 000 -300 000 ES, kao, na primer, za slučaj pozicije Novi Beograd.

Opređenje za maksimalno navedene granice hidrauličkog opterećenja otpadnih voda od (2×)100 000 ES za unificiranje postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda je izvršeno na bazi sledećih procena:

- Nema većeg broja postavljenih kolektorskih sistema u našoj zemlji, čiji kapaciteti značajno prelaze kapacitet od 100 000 ES, da bi se za njih uradilo unificiranje postojenja.
- Svi gradovi, koji spadaju u naselja sa opterećenjima značajno preko 250 000 ES imaju specifični razvoj industrije, tako da bi problematika jedinstvenog rešavanja postrojenja za prečišćavanje mešanih kanalizacionih i industrijskih otpadnih voda bila, kako tehnološki, tako i mašinski, značajno komplikovana, pa je efikasnije podela kanalizacionih kapaciteta na nekoliko kolektorskih sistema do nivoa od (2×)100 000 ES, kao i eventualno postavljanje pojedinih sistema za prečišćavanje industrijskih otpadnih voda.
- Maksimalno opterećenje se, pod određenim uslovima, pre svega kapaciteta industrijskih otpadnih voda, može i iskombinovati do sledećih nivoa kapaciteta postrojenja: 2×50 000, 1×100 000+1×50 000, 2×100 000, pri čemu prijemni, mehanički i izlazni delovi postrojenja mogu biti i kapaciteta od 150 000 ES, odnosno 200 000 ES, dok kapacitete tehnoloških delova ne treba povećavati preko 50 000 ES (2×50 000 ES, 3×50 000 ES, 4×50 000 ES)
- Svako postrojenje se u osnovnom tehnološkom postupku, deli na dve paralelne linije, čime se obuhvata kapacitet hidrauličkog opterećenja u granicama od 25 000 - 100 000 ES (odnosno eventualno 150 000 ES).
- Tehnološka postavka obrade otpadne vode se zasniva na jedinstvenom principu, postupku bioaeracionog tretmana aktivnim muljem sa niskim organskim opterećenjem, sa povratnim muljem, uz delimičnu nitrifikaciju i denitrifikaciju, kao i delimičnu aerobnu stabilizaciju aktivnog mulja, pri srednjem vremenu zadržavanja, što se uklapa u teorijske okvire upotrebe navedenog postupka, za hidraulička opterećenja u granicama od 25 000 - 100 000 ES.

- Problematika tretmana otpadnog mulja se može uniformno regulisati, nezavisno od hidrauličkog kapaciteta postrojenja, kao i nezavisno od linije tretmana vode, u okviru granica opterećenja od 25 000 ES do 200 000 ES. Za opterećenja od 25 000 ES do $4 \times 50\,000$ ES se koristi postupak fermentacije otpadnog mulja sa centrifugiranjem, pri čemu se bio gas spaljuje na baklji, ili sakuplja oslobođeni gas, ali bez daljih gasnih postrojenja na samom objektu.
- Najveći broj gradskih naselja u našoj zemlji, može se obuhvatiti ovim jedinstvenim tehničko-tehnološkim postupkom, kao i mašinskom opremom i repromaterijalom, čime se u velikoj meri unificira problematika tretmana otpadnih voda, a ujedno se i olakšavaju nabavka i održavanje opreme, upravljanje postrojenjem, remont i drugi aspekti vezani za postrojenja u eksploataciji.

Osnovne tehničko-tehnološke prednosti ovakvog okvira postavke problematike tretmana otpadnih voda se ogledaju u nekoliko bitnih elemenata:

- mogućnost prihvata kombinovanih, industrijskih i komunalnih otpadnih voda, sa korišćenjem predtretmana industrijskih otpadnih voda do nivoa dopuštenog za upuštanje u gradski kanalizacioni sistem
- mogućnost sezonskih oscilacija hidrauličkih opterećenja do 50% (maksimalno i do 100%), pri čemu se mogu efikasno koristiti jedna ili obe instalirane linije linije u postrojenju (eventualno 2+1, odnosno 2+2 instalirane linije postrojenja pri maksimalnoj postavci od 100 000 ES do 200 000 ES)
- mogućnost obrade srednje opterećenih otpadnih voda šireg spektra kvaliteta, sa promenljivim organskim opterećenjem, što je najčešće karakteristika kombinovanih, komunalnih i industrijskih otpadnih voda većih gradskih sredina, kod nas
- efikasno uniformno rešavanje problematike stabilizovanja otpadnog mulja, čime se bitno olakšava njegov dalji tretman i dispozicija

Ovakvim tipovima postrojenja se mogu pokriti skoro sve gradske sredine većih gradova, što sigurno kvantitativno pokriva najmanje 20-30% od ukupnog broja urbanizovanih sredina u našoj zemlji, dok je kvalitativni udeo značajno viši i prelazi 50%.

Usled navedenih pokaznica ovakva postrojenja će biti detaljno obrađena u ovoj publikaciji, sa izvedenim hidrauličkim i tehnološkim proračunom za postrojenja hidrauličkih kapaciteta od 50 000 - 100 000 ES.

Kao što se može sagledati posebno mesto u ovoj problematici imaju naselja sa kapacitetima od 20 000 - 30 000 ES.

Ova naselja mogu izabrati kao povoljno rešenje postavljanje bilo srednjih postrojenja ($2 \times 15\,000$ ES), bilo velikih postrojenja ($2 \times 25\,000$). Za koji tip postrojenja će se opredeljavati odlučujući uticaj će imati, kako planirani budući razvoj samog mesta, tako pre svega industrijski razvoj u posmatranom mestu.

Ako se planira veći industrijski razvoj za mesta reda veličine kapaciteta od 20 000 ES, što povlači za sobom i povećani ekvivalent stanovnika naseljavanjem radnika, kao i usled povećavanja ostalih proizvodnih efekta, koje prate razvoj konkretne industrije, onda je bolje u startu planirati postavljanje postrojenja od $2 \times 25\,000$ ES, nego $2 \times 15\,000$ ES.

5.2. Tehničko-tehnološka rešenja postrojenja

Za navedene hidrauličke kapacitete postrojenje mora biti visoko fleksibilno, pošto oscilacije hidrauličkog opterećenja, a posebno organskog opterećenja, mogu biti značajne, pa čak i u okviru vremenske odrednice od jedne dekade.

Stoga je jako značajna postavka postrojenja kao dve paralelne linije od po polovine kapaciteta u primarnom i biološkom delu obrade.

Opterećenje postrojenja muljem predstavlja veliki problem ovih postrojenja, posebno za opterećenje od preko 50 000 ES, pošto je količina primarnog mulja značajna u odnosu na ukupni mulj (primarni+višak aktivnog mulja).

Primarni mulj se izdvaja pre biloške obrade i nezavisno obrađuje u posebnom delu postrojenja, pomešan sa delimično stabilizovanim viškom aktivnog mulja.

Obim opterećenja od 50 000ES do 100 000 ES omogućava jedinstveni tretman mulja, koji bazira na sledećim operacijama:

- izdvajanje primarnog mulja primarnim taloženjem
- fermentacija izdvojenog mulja digestorima
- presovanje izreagovalog mulja filter presama

Za ovako postavljenu problematiku mulja se mora postaviti značajno fleksibilna tehnologija, pa je rešenje sa odvojenom anaerobnom stabilizacijom mulja u odvojenom anaerobnom procesu obrade, tokom postupka anaerobne fermentacije, van linije vode, značajno povoljno za naše uslove, pošto se dalji tretman može vršiti nezavisno biološkim i fizičkim postupcima, koji se nezavisno regulišu od rada ostalih delova postrojenja.

5.2.1. Linija vode

Aerobni tretman otpadne vode se vrši u odvojenom sistemu otpadne vode, odnosno odvojenoj liniji vode i mulja, tako da se pod aerobnim uslovima prečišćava samo otpadna voda bioaeracionim tretmanom sa aktivnim muljem. Tehnološki postupak se zasniva na nižim opterećenjima sa srednjim vremenom zadržavanja u bioaeracionom bazenu. Istovremeno sa tretmanom otpadne vode, vrši se i delimična nitrifikacija i denitrifikacija u istom bioaeracionom bazenu. Iz bioaeracionog bazena izlazi smeša tretirane otpadne vode i delimično aerobno stabilizovanog mulja.

Operacije, koje se koriste za zajednički tretman otpadne vode i mulja, koje spadaju u liniju vode, su:

- podizanje na hidrauličku kotu pužnim pumpama
- mehanička separacija rešetkama
- gravitaciona separacija peska u aerisanim peskolovima
- gravitaciona separacija mulja u primarnom taložniku

Posle gravitacione separacije mulja vrši se deljenje linije na liniju vode i liniju mulja, kako bi se nezavisno upravljalo tretmanom vode i tretmanom otpadnog mulja. Nadalje se linija vode nastavlja postavkama čije su tehnološka rešenja vezana isključivo za tretman vode, bez postupaka za tretman mulja.

Sledeće pozicije u postrojenju čisto za tretman otpadne vode su:

- bioaeracioni tretman sa povrtanim muljem pri nižem opterećenju, sa delimičnom nitrifikacijom i denitrifikacijom vode
- gravitaciona separacija od aktivnog mulja u naknadnom taložniku
- tercijalno prečišćavanje: nitrifikacija, denitrifikacija, hlorisanje i drugo

-
- retenzija
 - izlivna građevina

5.2.2. Linija mulja

Linija mulja je potpuno nezavisna od hidrauličkih kapaciteta postrojenja i bazira na sledećim operacijama:

- gravitaciono ugušćavanje u muljnom ugušćivaču
- fermentacija ugušćenog mulja u digestoru, sa evakuacijom i sakupljanjem izdvojenog gasa
- gravitaciono ugušćavanje fermentiranog mulja u naknadnom muljnom ugušćivaču
- presovanje ugušćenog mulja filter presama

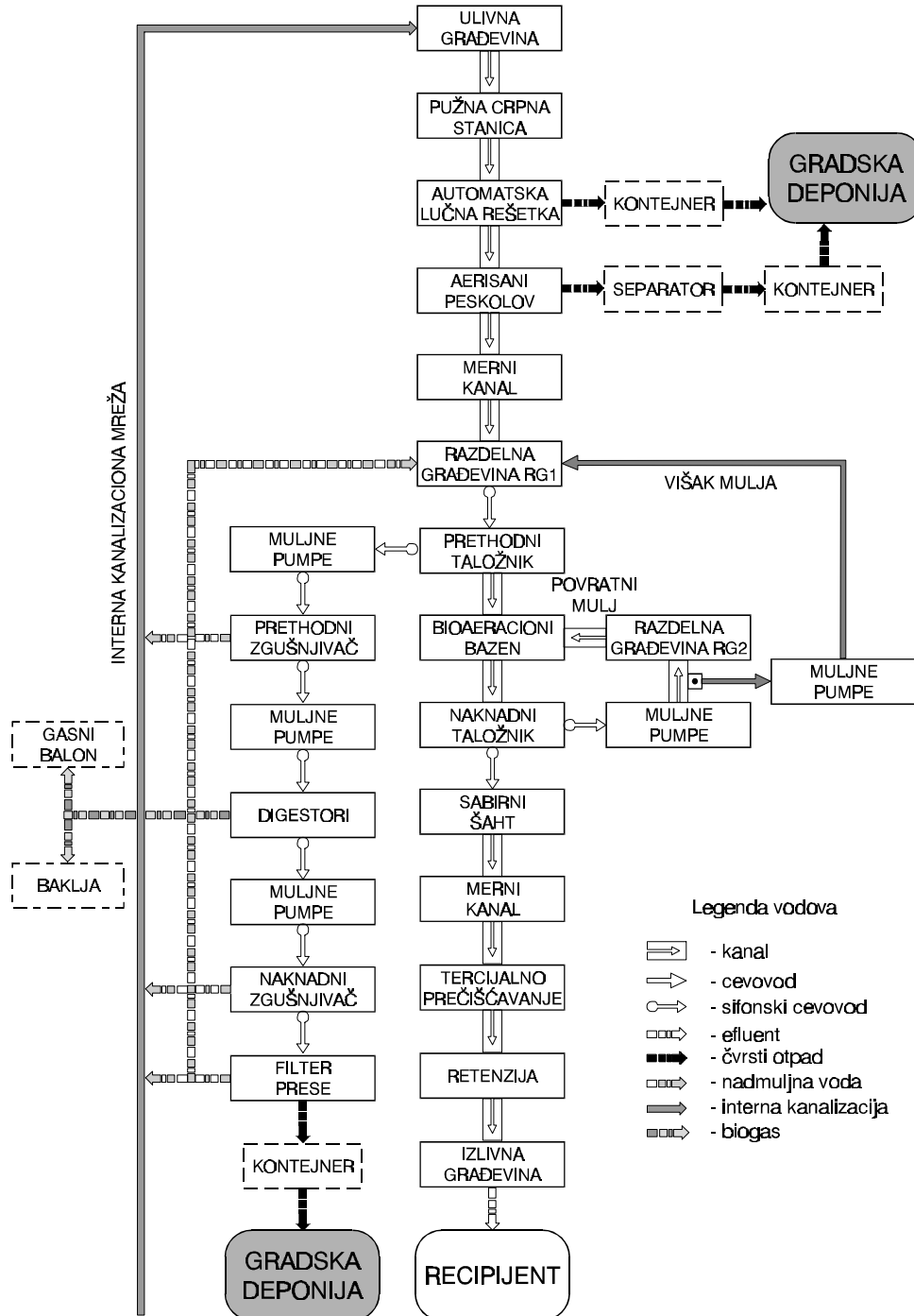
Unos kiseonika u bioeracioni bazen se može vršiti na više načina. Danas se može smatrati da su dva najpouzdanija metoda:

- unos kiseonika potpoljenim mamut rotorima - "četkama"
- unos kiseonika potopljenim difuzorima - baterije "tepih" difuzora

U ovoj publikaciji kompletni proračuni će biti urađeni za, do sada pouzdanije i više ispitane mamut rotore, mada nova tehnička rešenja potopljenih difuzora daju mogućnost i njihovog efikasnijeg korišćenja u navedenim postrojenjima.

Blok šema postrojenja za opterećenja od 50 000 - 100 000 ES je data na slici 50 Tehnološka šema postrojenja (linija za preradu otpadnih voda) za opterećenja od 50 000 - 100 000 ES je data na slici 51.

Slika 50 - Blok šema za prečišćavanje otpadnih voda sa anaerobnim tretmanom mulja (za hidrauličko opterećenje u opsegu od 50 000 - 100 000 ES)



5.3. POSTROJENJE KAPACITETA OD 50 000 ES

– Hidrauličko opterećenje postrojenja

Hidrauličko opterećenje postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, za kapacitet od 50 000 ES, preračunava se iz sledećih relacija:

- broj ekvivalentnih stanovnika: $N_{ES} = 50\,000$ ES
- norma otpadnih voda: $q = 280$ l po ES na dan
- srednje dnevno hidrauličko opterećenje se preračunava iz relacije:

$$Q_{sr}^d = N_{ES} \cdot q = 50000 \cdot 0.28 = 14000 \text{ m}^3 \text{ na dan} = 583.33 \text{ m}^3 / \text{h} = 162 \text{ l / s}$$

- koeficijent opšte neravnomernosti se izračunava iz izraza:

$$K_{op} = 2.69 \cdot Q_{sr}^{d(-0.121)} = 2.69 \cdot 162^{(-0.121)} = 1.453$$

- maksimalno časovno hidrauličko opterećenje se određuje iz relacije:

$$Q_{max}^d = Q_{sr}^d \cdot K_{op} = 14000 \cdot 1.453 = 20342 \text{ m}^3 \text{ na dan} = 847.58 \text{ m}^3 / \text{h} = 235 \text{ l / s}$$

- maks. dnevno hidrauličko opterećenje se određuje preko koef. dnevne neravnomernosti:

$$Q_{max}^d = Q_{sr}^d \cdot K_d = 14000 \cdot 1.25 = 17500 \text{ m}^3 \text{ na dan} = 729.16 \text{ m}^3 / \text{h} = 202.5 \text{ l / s}$$

– Biološko opterećenje postrojenja

Biološko opterećenje postrojenja za prečišćavanje upotrebljenih voda, za kapacitet od 50 000 ES, izračunava se na osnovu specifičnog biološkog opterećenja izraženog preko biološke potrošnje kiseonika (BPK_5) po ekvivalentnom stanovniku na dan:

$$b = 70 \text{ g O}_2(\text{BPK}_5) \text{ po ES na dan}$$

Na taj način, izračunava se biološko opterećenje postrojenja iz relacije:

$$B(\text{kgBPK}_5 / \text{dan}) = N_{ES} \cdot b = 50000 \cdot 0.07 = 3500$$

– Osnovni parametri i šema postupka

Osnovni parametar prilikom izbora tehnološke šeme prečišćavanja otpadnih voda je zahtevani kvalitet finalnog efluenta pre upuštanja u recipijent. Kao granični uslov pri dimenzionisanju postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda usvojen je sledeći kriterijum: na kraju primarnog i sekundarnog postupka obrade vode koja izlazi iz sistema za obradu mora zadovoljavati sledeće uslove:

- $C_{BPK_5} < 25 \text{ mgO}_2/\text{l}$ (bez nitrifikacije), uz minimalan stepen redukcije 75%
- $C_{HPK} < 125 \text{ mgO}_2/\text{l}$, uz minimalan stepen redukcije 75%
- $C_{\text{susp. materije}} < 30 \text{ mg/l}$, uz minimalan stepen redukcije 90%

Posle tercijalne obrade vode koja se upušta u recipijent mora da zadovolji sledeće uslove:

- $C_{BPK_5} < 4 \text{ mgO}_2/\text{l}$
- $C_{\text{susp. materije}} < 30 \text{ mg/l}$

Obzirom da minimalni srednji tridesetodnevni proticaj 95% obezbeđenosti iznosi $Q_{95\%}=0.040 \text{ m}^3/\text{s}$, ne može se računati sa efektima razblaženja i zbog toga kvalitet mora odgovarati propisanim parametrima za vodotoke klase IIa.

Za prečišćavanje kanalizacionih voda, za kapacitet postrojenja od 5 0 000 ES, najprikladniji način prerade je aerobni tretman sa aktivnim muljem, gde se jedan deo aktivnog mulja iz naknadnog taložnika vraća u bioeracioni bazen, u cilju zasejavanja otpadne vode mikroorganizmima koji razgrađuju organski materijal. Tako se održava potrebna koncentracija biološki aktivnog mulja u bioeracionom bazenu, odnosno održava se razmera između dovedene nove organske materije koja treba da se razgradi (hrane), prema masi živih organizama u mulju.

Ovakav koncept prečišćavanja otpadnih voda se pokazao kao veoma pogodan u praksi iz razloga što je u mogućnosti da prati "udare" opterećenja bez dogradnje novih objekata i ugradnje nove opreme. Sistem je veoma fleksibilan u pogledu proširenja kapaciteta uređaja ako se prilikom eksploatacije ukaže potreba, odnosno ako planirani kapacitet nije u stanju da podmiri novonastale potrebe.

Navedeni proces prečišćavanja se sastoji od mehaničkog i biološkog dela procesa pri čemu se u mehaničkom delu, posle podizanja otpadnih voda na kotu separatora, na automatskoj rešetki otklanjaju dimenzioni čvrsti otpatci (dijametra većeg od svetlog otvora rešetke), a zatim se u aerisanom peskolovu vrši taloženje peska i ostalih lakotaloživih supstanci (inertno taloženje).

U biološkom delu postrojenja se vrši razgradnja rastvorenih organskih materija postupkom sa aktivnim muljem uz delimičnu aerobnu stabilizaciju aktivnog mulja. U biološkom delu postrojenja se vrši razgradnja rastvorenih organskih materija metodom sa aktivnim muljem, u vremenu i količini kiseonika potrebnoj za aerobnu stabilizaciju izreagovalog aktivnog mulja.

Istaloženi mulj se zgrće na dnu naknadnog taložnika i odatle cevovodom transportuje do šahta odakle se pomoću pužnih pumpi vrši recirkulacija aktivnog mulja (povratni mulj), odnosno prebacivanje aktivnog mulja u bioeracioni bazen. Višak mulja sa dna naknadnog taložnika pomoću uronjenih muljnih pumpi prebacuje se ponovo u primarni taložnik gde se na taj način pospešuje taloženje primarnog mulja.

Višak mulja iz primarnog taložnika se evakuše u objekat za prethodno zgušnjavanje mulja, gde odležava jedan određeni period. Pri tome se nadmuljna voda vraća nazad u proces, a ugušćeni mulj odvodi do digestora za mulj, u kome se vrši anaerobno vrenje mulja. Oslobođeni bio gas iz digestora se odvodi na sagorevanje na baklju. Ukoliko je prinos gasa značajan, oslobođeni bio gas se evakuše u rezervoar, balon za gas.

Anaerobno stabilizovani mulj se gravitaciono ispušta do uređaja za naknadno zgušnjavanje mulja. Pri tome se nadmuljna voda vraća nazad u proces, a ugušćeni mulj odvodi do filter prese gde se finalno obrađuje. Nakon dehidratacije, mulj, koji je posle anaerobnog vrenja u digestoru inertan, sakuplja se u kontejneru i odnosi na deponiju čvrstog otpada.

Tehnološka šema uređaja predviđena je po sledećim celinama:

- ulazna pužna crpna stanica
- automatska rešetka
- aerisani peskolov
- merni objekat
- primarni taložnik
- aeracija mamut rotorima
- naknadni taložnik
- recirkulacija mulja
- prethodno zgušnjavanje mulja
- anaerobna fermentacija mulja
- naknadno zgušnjavanje mulja
- dehidratacija mulja
- bazen za tercijalnu obradu (nitrifikacija denitrifikacija)
- korektivno hlorisanje - laguna retenzini prostor za kontakt hlora

Posmatrano prema liniji vode, odnosno prema liniji mulja, može se izvršiti podela objekata kako sledi i to:

Linija vode:

- ulazna crpna stanica
- automatska rešetka
- peskolov
- venturijev merni kanal
- primarni taložnik (kružni)
- bioaeracioni bazen sa mamut rotorima (karusel)
- naknadni taložnik (kružni)
- bazen za tercijalnu obradu (nitrifikacija denitrifikacija)
- korektivno hlorisanje - i laguna retenzini prostor za kontakt hlora

Linija mulja:

- crpna stanica za evakuaciju viška mulja iz sekundarnog taložnika
- crpna stanica za evakuaciju viška mulja iz primarnog taložnika
- crpna stanica za recirkulaciju mulja
- primarni zgušnjivač mulja
- digestori za mulj
- naknadni zgušnjivač mulja
- filter presa

Ostali objekti:

- upravno-pogonska zgrada
- zgrada za smeštaj filter prese
- rezervoar za biogas
- objekti neposredne sanitarne zaštite (žičana ograda i tabla upozorenja)
- zelene površine u krugu objekta

5.3.1. Dimenzionisanje objekata

5.3.1.1. Linija vode

– Pužna crpna stanica

Na kraju gradske kanalizacione mreže, posle poslednjeg šahta, na ulazu u postrojenje neophodno je izgraditi pumpnu stanicu kojom će se sakupljene otpadne vode izdići na potreban nivo, tako da dalje voda gravitaciono teče kroz objekte postrojenja.

Od opreme u crpnoj stanici se predviđa ugradnja pužnih pumpnih agregata obzirom na njihovu veoma malu osetljivost na primese koje donose fekalne otpadne vode. Pužne pumpe rade efikasno i sa znatno smanjenim dotokom od nominalnog tako da im praktično ne smeta ni rad "na prazno". Kontinuirani rad pužnih pumpi sprečava taloženje, a time i truljenje mulja u kanalskoj vodi, čime se sprečava širenje neugodnih mirisa iz ovakvih objekata. Osim toga, siguran i dugotrajan rad pužnih pumpi obezbeđen je relativno malim brojem obrtaja, kao i robusnom konstrukcijom celog agregata.

Sabirni šaht se kod pužnih pumpi gradi relativno plitko, odmah ispod dna dovodnog kanalizacionog kolektora, čime su smanjeni troškovi i teškoće zbog dubljeg ukopavanja crpnog bazena, koji je potreban kod ostalih tipova pumpi. Takođe, korito pužnih pumpi postepenim usponom izlazi iz velikih dubina, tako da pri građenju nema znatnijih problema nego pri građenju dovodnog kolektora.

Ulazna pužna crpna stanica se dimenzioniše na maksimalno opterećenje 235 l/s, odnosno usvajaju se pužne pumpe kapaciteta po 120 l/s (dve radne i jedna rezervna).

– Automatska rešetka

Kao prvi objekat predtretmana, prema prethodno usvojenoj i obrazloženoj tehnološkoj šemi, predviđena je automatska rešetka. U današnje vreme, izražena je tendencija izgradnje postrojenja za prečišćavanje upotrebljenih voda sa što višim efektom predtretmana. Naime, čest je slučaj u praksi, da se realizuju samo mehanički delovi sistema za prečišćavanje, tako da je potrebno postići što efikasniji predtretman radi zaštite recipijenta, a i sa povećanjem stepena mehaničkog predtretmana dolazi do sniženja organskog opterećenja biološkog stepena obrade, što dovodi, kako do smanjenja gabarita tih objekata, tako i do snižavanja energetske troškova. U slučaju da dođe do začepjenja rešetke ili zastoja u radu, tada otpadna voda teče zaobilaznim kanalom, "bypass" - om, preko ravne rešetke sa ručnim čišćenjem.

Sakupljeni komadni čvrsti otpad sa automatske rešetke se automatski izbacuje u betonsko korito, odakle se dalje odlaže u kontejnere.

Automatska rešetka se dimenzioniše na maksimalno opterećenje koje iznosi 235 l/s.

Usvaja se lučna rešetka koja se radi po licenci "Passavant Werke" i ugradjuje u kanal pravougaonog poprečnog preseka sledećih karakteristika:

- širina kanala: $B = 60 \text{ cm}$
- ukupna visina kanala: $H = 110 \text{ cm}$

Karakteristike "bypass" kanala su sledeće:

- širina "bypass" kanala: $B = 60 \text{ cm}$
- ukupna visina "bypass" kanala: $H = 110 \text{ cm}$.

– **Aerisani peskolov sa hvatačem ulja i masti**

U kombinovanim, komunalnim i industrijskim otpadnim vodama, obzirom na karakter otpadnih voda, moguća je pojava znatnih količina masti, plivajućih materija, peska i sličnog.

Da bi se uklonile ove nečistoće, predviđen je aerisani peskolov sa hvatačem ulja i masti. To je podužni taložnik sa translatorskim zgrtačem lako taloživih materija koje se sakupljaju na dnu bazena. Zgratačem se istaložene čestice potiskuju do treihtera odakle se mamut pumpom evakušu u silos za pesak ($V=5.0 \text{ m}^3$) koji se nalazi u objektu pored peskolova.

Da se ne bi taložile organske materije, a radi poboljšanja flotacije eventualno prisutnih plivajućih materija, ulja i masti, u peskolov se preko sistema perforiranih čeličnih cevi uduvava vazduh u količini od $Q_v = 6 \text{ Nm}^3/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ dužine bazena.

Usvojeni tip peskolova ima oznaku SFbS 4-2.0 sa sledećim karakteristikama:

- poprečni presek: $P_p = 4.0 \text{ m}^2$
- dužina peskolova: $L_p = 15 \text{ m}$
- zapremina peskolova: $V_p = 60 \text{ m}^3$

Potrebna količina vazduha za uduvavanje u podužni peskolov iznosi:

$$Q_v^* (\text{Nm}^3/\text{h}) = Q_v \cdot L_p = 6 \cdot 15 = 90$$

Prema tome, specifičan unos vazduha po m^3 zapremine peskolova i času iznosi:

$$Q_v^* (\text{Nm}^3 / \text{m}^3 \cdot \text{h}) = \frac{Q_v^*}{V_p} = \frac{90}{60} = 1.5$$

Masti i sve ostale prisutne plivajuće materije će se evakuirati pomoću zgrtača plivajućih materija i dalje odložiti u prihvatni šaht, odakle se pumpom evakušu na dalju obradu u digestore. Vreme zadržavanja otpadnih voda u aerisanom peskolovu iznosi:

$$Q_{\max}^h = 847.53 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ odnosno } 235 \text{ l/s}$$

$$t_1 (\text{s}) = \frac{V_p}{Q_{\max}^h} = \frac{60}{0.235} = 255 \quad \text{tj. } t_1 \approx 4.25 \text{ min}$$

$$Q_{\max}^d = 729.16 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ odnosno } 202.5 \text{ l/s}$$

$$t_2 (\text{s}) = \frac{V_p}{Q_{\max}^d} = \frac{60}{0.2025} = 296 \quad \text{tj. } t_2 \approx 4.94 \text{ min.}$$

$$Q_{\text{sr}}^d = 583.33 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ odnosno } 162 \text{ l/s}$$

$$t_3 (\text{s}) = \frac{V_p}{Q_{\text{sr}}^d} = \frac{60}{0.162} = 370 \quad \text{tj. } t_3 \approx 6.17 \text{ min.}$$

Može se zaključiti da vreme zadržavanja otpadnih voda u aerisanom peskolovu zadovoljava propisane norme, a koje za maksimalnu količinu otpadnih voda iznose: $t=4\text{-}5$ minuta.

– **Merni kanal**

Nakon prolaska kroz aerisani peskolov sa hvatačem ulja i masti otpadana voda oslobođena lako taloživih materija mineralnog porekla, kao i plivajućih materija, a pre raspodele i odlaska ka primarnim taložnicima, prolazi kroz merni uređaj za merenje proticaja tipa Venturi, kapaciteta 235 l/s.

– **Primarni taložnik**

Nakon prolaska kroz merni uređaj za merenje proticaja tipa Venturi, kapaciteta 235 l/s, voda dolazi u primarni taložnik. Otpadna voda u primarni taložnik dolazi gravitaciono u centralni cilindar i preko Štengelovih elemenata izlazi u taložnik. Zahvaljujući ravnomernoj raspodeli dotičućih otpadnih voda i umirenju toka dolazi do razdvajanja faza, pri čemu se taložive materije izdvajaju na dnu taložnika, a delimično izbistrena otpadna voda preko preliva sakuplja se u obodnom kanalu i odvodi na dalji tretman. U primarni taložnik se dovodi i višak aktivnog mulja koji takođe pospešuje taloženje čvrstih materija. Primarni taložnik je snabdeven elektromašinskom opremom za kontinuirano zgrtanje istaloženog mulja uz istovremeno sakupljanje i evakuaciju prisutnih plivajućih materija i pene.

Iz primarnog taložnika povremeno se vrši evakuacija viška mulja, odnosno istaloženi mulj pumpama se transportuje u gravitacioni ugušćivač mulja.

Elementi za dimenzionisanje taložnika su:

- Maksimalni satni dotok otpadnih voda: $Q_{\max}^h = 235 \text{ l/s} = 847.53 \text{ m}^3/\text{h}$
- Vreme zadržavanja otpadnih voda u taložniku: $t = 0.5 \text{ h}$
- Hidrauličko površinsko opterećenje primarnog taložnika: $q_F = 4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$
- Prema tome, potrebna površina primarnog taložnika iznosi:

$$P_{PT} (\text{m}^2) = \frac{Q_{\max}^h}{q_F} = \frac{847.58}{4} = 211.9$$

Usvojicemo dva primarna taložnika, pa je potrebna površina jednog taložnika $P_{PT}=106 \text{ m}^2$.

$$D (\text{m}) = \sqrt{\frac{4 \cdot P_{PT}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 106}{3.14}} = 11.62$$

Kapacitet svakog taložnika Q_{mer} iznosi:

$$Q_{\text{mer}} (\text{m}^3 / \text{h}) = \frac{Q_{\max}^h}{2} = \frac{847.58}{2} = 423.78$$

Usvaja se primarni taložnik radijalnog tipa karakteristiuka:

- prečnik: $D_{PT} = 13 \text{ m}$
- dubina: $H_{PT} = 1.8 \text{ m}$
- površina: $P_{PT} = 106 \text{ m}^2$
- zapremina: $V_{PT} = 258 \text{ m}^3$

Prosečno vreme zadržavanja otpadnih voda u taložniku iznosi:

$$t(\text{min}) = \frac{V_{uk}}{Q_{\text{mer}}} \cdot 60 = \frac{258}{423.76} \cdot 60 = 36.5$$

Hidrauličko površinsko opterećenje primarnog taložnika u ovom slučaju iznosi:

$$q_F \text{ (m / h)} = \frac{Q_{\text{mer}}}{P_{\text{PT}}} = \frac{423.76}{133} = 3.18$$

Posle primarnog taložnika i izdvajanja nataloženih materija organskog i mineralnog porekla, otpadne vode su delimično oslobođene suspendovanih materija i u sebi nose pre svega rastvorene materije.

Zbog karaktera otpadnih voda, smatra se da će se prethodnim tretmanom na primarnom taložniku redukovati oko 20% organskih materija.

– **Pumpna stanica za evakuaciju mešanog mulja iz primarnog taložnika**

Istaloženi mulj u primarnom taložniku će se povremeno evakuisati pomoću potopljene muljne pumpe koja je montirana u šahtu neposredno pored taložnika. Dinamika evakuacije sirovog mulja mora biti usklađena sa linijom obrade mulja u gravitacionom ugušćivaču.

Usvajaju se dve potopljene muljne pumpe kapaciteta $Q = 20 \text{ l/s}$, visine dizanja $H = 10 \text{ m V.S.}$, pri čemu je jedna pumpa radna, a druga rezervna.

Pumpe su birane u odnosu na pumpe domaće proizvodnje, proizvođač "JASTREBAC" NIŠ ili strane proizvodnje, proizvođača "FLYGHT" iz Švedske.

– **Biološki bazen**

Posle mehaničke rešetke, pumpne stanice, aerisanog peskolova sa odeljivačem masti i ulja, i primarnog taložnika otpadne vode se raspodeljuju na dva biološka bazena. Usvojeni proces prečišćavanja otpadnih voda je sa površinskom aeracijom pomoću mamut rotora.

Organsko opterećenje otpadnih voda, koje dolaze na postrojenje posle tretmana na primarnom taložniku (očekivano smanjenje 20%), iznosi:

$$B'_{\text{sp}} \text{ (kgBPK}_5 \text{ na dan)} = 3\,500 \cdot 0.8 = 2\,800$$

Prema usvojenim normativima za dimenzionisanje biološkog dela postrojenja, specifično prostorno organsko (biološko) opterećenje biološkog bazena je:

$$R_{\text{VB}} = 1.0 \text{ kg BPK}_5/\text{m}^3 \text{ na dan}$$

Prema tome, zapremina biološkog bazena treba da iznosi:

$$V_{\text{B}} \text{ (m}^3\text{)} = \frac{2800}{1.0} = 2800$$

Usvajaju se dva biološka bazena, svaki zapremine po $V_{\text{BB}} = 1\,500 \text{ m}^3$.

Kod anaerobne stabilizacije mulja koncentracija suve materije aktivnog mulja iznosi:

$$B_{\text{sp}} = 3.3 \text{ kg SM/m}^3$$

Obzirom da je prostorno opterećenje biološkog bazena od $R_{\text{VB}} = 1.0 \text{ kg BPK}_5/\text{m}^3 \text{ d}$, to je opterećenje suve materije aktivnog mulja u bioaeracionom bazenu:

$$R_{\text{SM}} = 0.3 \text{ kg BPK}_5/\text{kg SM.d.}$$

Iz ovog proizlazi da je opterećenje mulja biološkog dela postrojenja takvo da omogućava razgradnju teško razgradljivih supstanci u otpadnoj vodi. Razgradljivost teško razgradivih supstanci se nalazi u direktnoj zavisnosti od opterećenja mulja u biološkom bazenu.

Dimenzije biološkog bazena su sledeće:

— dužina:	$L_{BB} = 40.1 \text{ m}$
— širina:	$B_{BB} = 13.7 \text{ m}$
— dubina:	$H_{BB} = 3.0 \text{ m}$
— zapremina:	$V_{BB} = 1525 \text{ m}^3$

Vreme zadržavanja otpadne vode u bioaeracionom bazenu iznosi:

a) minimalno satno vreme zadržavanja

$$h_{\min}^h (h) = \frac{V_{BB}}{Q_{\text{mer}}} = \frac{1500}{423.76} = 3.54$$

b) minimalno dnevno vreme zadržavanja

$$h_{\min}^d (h) = \frac{V_{BB}}{Q_{\max}^d / 2} = \frac{2 \cdot 1500}{729.16} = 4.12$$

c) prosečno dnevno vreme zažavanja

$$h_{sr}^d (h) = \frac{V_{BB}}{Q_{sr}^d / 2} = \frac{2 \cdot 1500}{583.33} = 5.14$$

Sa vremenom zadržavanja od 4-5^h i organskim opterećenjem od 0.3 kg BPK₅/kgSM sistem spada u nisko opterećeno postrojenje sa srednjim vremenom zadržavanja. To znači da će aktivni mulj biti relativno stabilizovan, dok procesi nitrifikacije i denitrifikacije neće biti optimalno izvršeni.

Kako je zahtev za efluentom, zbog kvaliteta recipijenta, jako visok, to se mora vršiti i tercijalna obrada, pa nema potrebe za produženom aeracijom u bioaeracionom bazenu, kao metodom za treman otpadnih voda, koji, osim stabilizacije mulja, vrši i adekvatnu nitrifikaciju i denitrifikaciju otpadne vode. Navedeni metod produžene aeracije zahteva znatno duže vreme zadržavanja u procesu (prosečno od 18-24^h) čime bi se značajno povećali gabariti postrojenja, koji bi za direktnu posledicu imali značajno veća ulaganja, pre svega investiciona u opremu i radove.

Za ostvarivanje biološkog procesa prečišćavanja otpadnih voda metodom s aktivnim muljem, neophodno je vršiti aeraciju otpadnih voda, kako bi se postigli uslovi za nesmetano odvijanje biološkog procesa.

U ovom slučaju aeracija se predviđa površinskim aeratorima poznatim pod komercijalnim nazivom mamut rotor. Alternativa mamut rotorima može biti i "tepih" difuzija, potopljenim baterijama difuzora, postavljenim pri dnu bioaeracionog bazena.

Praksa je pokazala da su četke u odnosu na druge tipove površinskih aeratora trajnije u pogonu. Razlog dugotrajnosti je u činjenici da su četke dvostrano oslonjene i ležaj reduktora se zbog toga manje napreže nego kod drugog tipa aeratora koji imaju samo jedan oslonac, gde se javljaju naprezanja od aksijalne i centrifugalne sile.

Efikasnost mamut rotora uglavnom odgovara ostalim tipovima aeracije, pa se ne javljaju bitne razlike u potrošnji energije. Transfer kiseonika i potrošnja energije se, slično ostalim tipovima površinskih aeratora, podešava promenom dubine urona lopatice.

Normativ unosa kiseonika u otpadnu vodu je $OC/B_{sp} = 2.0 \text{ kg O}_2/\text{kg BPK}_5$. Za ukupno organsko opterećenje od $B_{sp} = 1\,400 \text{ kg BPK}_5/\text{d}$, potrebni unos kiseonika za odvijanje biološkog procesa prečišćavanja otpadnih voda grada i industrije iznosi:

$$OC \text{ (kg O}_2 \text{ na dan)} = B_{sp} \cdot (OC/B_{sp}) = 1\,400 \cdot 2 = 2\,800$$

Časovni unos kiseonika iznosi:

$$OC_h \text{ (kg O}_2 \text{ / h)} = \frac{B_{sp}}{18 \text{ h / d}} = \frac{2800}{18} = 155.55$$

Regulacija unosa količine kiseonika u otpadnu vodu u biološkom bazenu vrši se pomoću regulacionog preliva kojim se određuje visina urona lopatice četki u vodi, a na bazi izmerene količine rastvorenog O_2 što se vrši automatski pomoću merne sonde. Takvom regulacijom dubine urona lopatica mamut rotora postiže se štednja električne energije kao i potpunim uključenjem pojedinih mamut rotora, čiji je rad automatski zavisao od koncentracije kiseonika u otpadnoj vodi u biološkom bazenu.

Što je veći uron lopatica, to je veća količina kiseonika koja se unosi u otpadnu vodu i obratno, manji uron lopatica ima za posledicu i manji unos kiseonika.

U konkretnom primeru usvaja se prosečni uron lopatica od $h = 22.5 \text{ cm}$, pri čemu je specifični unos kiseonika:

$$OC_{spec} = 7.0 \text{ kg O}_2/\text{m}^2 \cdot \text{h}.$$

Na osnovu traženih kapaciteta može se izračunati ukupna dužina mamut rotora potrebna za ugradnju u biološkom bazenu, da bi se ostvarili željeni efekti:

$$L_{uk} \text{ (m)} = \frac{OC_h}{OC_{spec}} = \frac{155.55}{7.0} = 22.22$$

Usvajaju se mamut rotori jedinične dužine $L_{rot} = 6.0 \text{ m}$. Ukupan broj mamut rotora koji će biti instalirani u biološkim bazenima iznosi:

$$U \text{ (kom)} = \frac{L_{uk}}{L_{rot}} = \frac{22.22}{6.0 \text{ m}} = 3.7 \approx 4$$

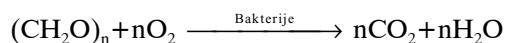
Usvaja se broj mamut rotora $U = 4 \text{ kom}$.

Dužinom od 24 m postizemo unos kiseonika od $168 \text{ kg O}_2/\text{h}$. Prema dijagramu proizvođača i sračunatoj potrebnoj količini kiseonika potrebnog za aeraciju dubina urona lopatica usvojenih mamut rotora iznosi oko $h = 21 \text{ cm}$.

Mamut rotori se obrću u jednom smeru i na taj način unose potrebnu količinu kiseonika kao i određenu količinu kinetičke energije koja omogućava kretanje otpadne vode u biološkom bazenu. Ovime se sprečava taloženje aktivnog mulja u bioaeracionom bazenu, već se aktivni mulj stalno održava u lebdećem stanju u masi vode. Biološkim prečišćavanjem otpadnih voda pomoću mikroorganizama aerobno se razgrađuju prvenstveno rastvorene organske materije. Metod bioaeracije podrazumeva čišćenje otpadne vode aktivnim muljem. Aktivni mulj, koji se pretežno sastoji od pahuljastih formi kolonija mikroorganizama (uglavnom bakterija), intenzivno se meša sa otpadnom vodom. Na ovaj način mikroorganizmi aktivnog mulja stalno dolaze u kontakt, kako sa organskim nečistoćama, tako i sa kiseonikom i održavaju se u suspenziji.

Čišćenje otpadne vode odvija se tako, što flokule mulja "preuzimaju" rastvorene organske materije iz vode transportuju kroz polupropustljive membrane unutar ćelije mikroorganizama, gde se procesima intracelularnog metabolizma unete organske materije transformišu u novu živu pahuljastu masu (prinos mase) i energiju (energetski efekat).

Deo oslobođene energije se troši za metabolizam mikroorganizama (processe disanja i druge procese u živoj masi), a deo se odaje okolnoj sredini. Krajnji produkt biooksidacije organske materije (ugljenika) su voda i ugljendioksid. Proces se može prikazati hipotetičkom reakcijom:



U prikazanoj reakciji svaki mol utrošenog kiseonika O_2 proizvodi mol ugljen dioksida CO_2 .

Kod aerobnih procesa oslobađanje energije u okolnu sredinu nema komercijalni energetski efekat, pa se ne vrši rekuperacija energije iz procesa, kao kod anaerobnih procesa.

Navedenim metaboličkim procesima organske materije iz otpadne vode jednim delom prelaze iz rastvorene i koloidne forme u čvrstu formu, koja se "ugrađuje" u pahulje mulja (mineralizacija organske materije), tako da se taloženjem izreagovalog mulja mogu ukloniti iz otpadne vode.

Deo nerastvorenih organskih materija, kao i organskih makromolekula, takođe se razlaže prema navedenim mehanizmima, s' tim što se, prethodno, ekstracelularnim biohemijskim procesima, vođenim pomoću izluženih enzima iz ćelija mikroorganizama, razgrađuju na niže molekulske i rastvorne elemente, koji se mogu transportovati u ćelije mikroorganizama, gde se vrši njihova intracelularna enzimaska razgradnja.

Tretirana otpadna voda se preko regulacionog preliva ispušta iz biološkog bazena u naknadne (sekundarne) takožnike, gde se dalje vrši njena obrada.

– Naknadni taložnik

Otpadne vode se preko raspodelnog šahta raspodeljuju u dva naknadna taložnika, (svaki bioaeracioni bazen ima svoj naknadni taložnik), gde se vrši taloženje aktivnog mulja i bistrenje tretirane otpadne vode. Istaloženi mulj se pužnim agregatima vraća u recirkulaciju. Naknadni taložnici su kružnog oblika a potrebna veličina istih se izračunava na osnovu sledećih parametara:

— površinsko opterećenje suve materije naknadnog taložnika iznosi:

$$R_{\text{NT}} = 2.5 \text{ kg SM /m}^2\cdot\text{h}$$

— zapreminsko opterećenje naknadnog taložnika, aktivnim muljem iznosi:

$$C_{\text{SM}} = 3.3 \text{ kg SM/m}^3$$

— ukupno hidrauličko opterećenje postrojenja za koje se vrši dimenzionisanje naknadnih taložnika iznosi:

$$Q_{18} = 634.5 \text{ m}^3/\text{h} = 176.25 \text{ l/s}$$

Površina naknadnog takožnika, na osnovu ovih usvojenih parametara iznosi:

$$P_{\text{NT}} (\text{m}^2) = \frac{Q_{18} \times C_{\text{SM}}}{R_{\text{NT}}} = \frac{634.5 \times 3.3}{2.5} = 837.54$$

Usvajaju se dva naknadna taložnika jedinične površine $P_{\text{NT}} = 418.27 \text{ m}^2$.

Prečnik naknadnog taložnika je prema tome:

$$D(m) = \sqrt{\frac{4 \cdot P_{NT}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 418.27}{3.14}} = 23.08$$

Usvaja se standardni prečnik naknadnog taložnika, prema preporukama Passavant Werke, sledećih karakteristika:

— prečnik:	$D_{NT} = 24 \text{ m}$
— dubina:	$H_{NT} = 2.4 \text{ m}$
— površina:	$P_{NT} = 452 \text{ m}^2$
— zapremina:	$V_{NT} = 1\,206 \text{ m}^3$

Naknadni taložnik je robusan objekat sa ugrađenom elektromašinskom opremom koja omogućava nesmetano taloženje aktivnog mulja, njegovo zgrtanje i evakuaciju uz istovremeni odvod izbistrene vode u recipijent. Kontinuiranim kružnim kretanjem zgrtača mulja potiskuju se istaložene materije ka sredini u levak za mulj.

Zgrtalica za mulj je obešena na mostnu konstrukciju, koja je pri svom kružnom kretanju vuče za sobom. Kretanje mostne konstrukcije se vrši po obodu bočnog zida taložnice preko pogonskih točkova obloženih gumom.

Zakrivljenost zgrtalice odgovara logaritamskoj spirali koja je postavljena od ivice bazena do centralnog levka za mulj. Spirala je postavljena pod takvim uglom da omogućava maksimalno zgrtanje mulja u levak. U visini ogledala vode postavljen je hvatač pene i plivajućih materija koji iste potiskuje prema jednom džepu kroz koji propadaju i idu u crpni bazen pumpne stanice za recirkulaciju mulja.

Projektovano površinsko opterećenje naknadnog taložnika iznosi:

$$p_u(m/h) = \frac{Q_{18} / 2}{P_{NT}} = \frac{634.5}{2 \cdot 452} = 0.70$$

Prosečno vreme zadržavanja otpadnih voda u taložniku iznosi:

$$t(h) = \frac{V_{NT}}{Q_{18} / 2} = \frac{2 \cdot 1206}{634.5} = 3.8$$

Ovo vreme zadržavanja je dovoljno za uspešno taloženje aktivnog mulja i bistrenje tretirane otpadne vode.

– **Pumpna stanica za recirkulaciju mulja**

Istaloženi mulj u naknadnom taložniku se vraća u recirkulaciju u biološki bazen.

Na osnovu usvojenog procesa prečišćavanja otpadnih voda i normativa za projektovanje može se odrediti recirkulacioni odnos, koji uslovljava kapacitet pumpi za recirkulaciju.

Koncentracija suve supstance aktivnog mulja u biološkom bazenu isnosi:

$$SM_{BB} = 3.3 \text{ kg SM/m}^3$$

Koncentracija suve supstance aktivnog mulja u naknadnom taložniku, koja se vraća u recirkulaciju je:

$$SM_{RM} = 6.6 \text{ kg SM/m}^3$$

Na osnovu poznatih veličina koncentracije mulja u biološkom i naknadnom taložniku može se izračunati recirkulacioni odnos na osnovu sledeće jednačine:

$$RO_{RM} (\%) = \frac{SM_{BB} \cdot 100}{SM_{RM} - SM_{BB}} = \frac{3.3 \cdot 100}{6.6 - 3.3} = 100$$

Prema tome, recirkulacija aktivnog mulja iz naknadnog taložnika u biološki bazen će se vršiti u 100% odnosu na dotok otpadnih voda.

Recirkulacija mulja će se vršiti pužnim pumpama, pri čemu je kapacitet jedne pužne pumpe $Q_{PP} = 120$ l/s, sa visinom dizanja od $H = 5$ m VS.

Usvajaju se tri pumpna agregata sa dvobrzinskim motorima od kojih će dva raditi, a treći biti rezerva.

Prednost pužnih pumpi nad klasičnim pumpama kod prepumpavanja aktivnog mulja je višestruka u nizu važnih osobina. Transport aktivnog mulja iz naknadnog taložnika u biološki bazen pužnim pumpama je povoljan zbog toga što ne dolazi do razaranja flokula koje čine aktivni mulj. Podmazivanje ležajeva kod pužnih pumpi vrši se pomoću pumpe za mast niskog pritiska. Pumpa za podmazivanje radi zajedno sa pužnom pumpom.

Tako je na veoma jednostavan i siguran način onemogućen rad pužnih agregata bez podmazivanja ležišta. Iskustva koja se poseduju u našoj zemlji iz domena primene pužnih pumpi jasno ukazuje da su pužne pumpe nezamenljive kod prepumpavanja većih količina otpadnih voda ili muljeva, sa relativno malim visinama dizanja.

Na taj način se automatski obezbeđuje potrebna količina mulja u recirkulaciji.

– Pumpna stanica za višak aktivnog mulja

U toku biološkog procesa prečišćavanja otpadnih voda hranljivi supstrat iz otpadne vode najvećim delom se transformiše u novu ćelijsku masu mikroorganizama, te se produkuje više biološkog mulja nego što je potrebno za recirkulaciju u biološkom bazenu.

Takođe, deo pahuljica aktivnog mulja se toliko mineralizuje, da efikasnost obrade drastično opada, tako da se takve, mahom značajno otežale pahuljice, trebaju evakuisati iz daljeg postupka (izreagovali aktivni mulj).

Usled navedenih pojava se pojavljuje višak mulja, koji nije niti potreban, a delom niti podoban, za prečišćavanje otpadne vode. Zbog toga se isti mora ukloniti iz procesa prečišćavanja. Višak mulja se iz mase staloženog mulja u naknadnom taložniku, posle podizanja pužnim pumpama na kanal za mulj, pre razdelne građevine za povratni mulj na bioeracione bazene, evakuše iz samog muljnog kanala bočnim regulisanim prelivom visine 4-5 cm, u prelivni šaht, odakle se cevovodom gravitaciono odvodi u muljni šaht u kome su potopljene muljne pumpe, koje višak mulja transportuju cevovodom do prethodnog taložnika.

Specifična produkcija viška mulja kod pojedinih varijanti postrojenja se kreće u okviru granica između $AM_{VM} = 0.6 - 0.9$ kg SM/kg BPK₅.

Za usvojeni proces prečišćavanja otpadnih voda, sa aktivnim muljem uz anaerobnu stabilizaciju aktivnog mulja, faktor specifične produkcije viška mulja se može usvojiti kao:

$$AM_{VM} = 0.85 \text{ kg SM/kg BPK}_5$$

Imajući u vidu da je dnevno organsko opterećenje otpadnih voda od $B_{sp} = 2\ 800$ kgBPK₅ na dan, produkcija viška mulja će iznositi:

$$G_{VM} (\text{kg SM na dan}) = B_{sp} \cdot AM_{VM} = 2\ 800 \cdot 0.85 = 2\ 380$$

Koncentracija suve materije u povratnom mulju nakon naknadnog takožnika iznosi $SM_{RM} = 6.6 \text{ kg SM/m}^3$. Iz ovog proizlazi da je ukupna dnevna količina viška aktivnog mulja:

$$AM_{VM} (\text{m}^3 \text{ na dan}) = \frac{G_{VM}}{SM_{RM}} = \frac{2380}{6.6} = 360$$

Pumpna stanica za evakuaciju viška mulja iz naknadnog taložnika, na dalju obradu i stabilizaciju, je posebna pumpna stanica koja je opremljena potopljenim muljnim pumpama.

Kapacitet jedne pumpe je $Q_{MP} = 20 \text{ l/s}$, a visinom dizanja: $H = 5 \text{ m VS}$. Jedna pumpa će raditi prema potrebi, dok je druga pumpa aktivna rezerva.

Višak mulja će se transportovati u primarni taložnik, gde će se mešati sa sirovom otpadnom vodom, pa će se zajedno sa ostalim nataloženim materijama gravitaciono taložiti i sakupljati na dnu taložnika. Na ovaj način se postiže efikasnost taloženja primarnog mulja koji se potom zajedno sa aktivnim muljem evakuše i dalje transportuje u gravitacioni ugušćivač.

– Tercijalna obrada otpadnih voda

U okviru tercijalne obrade otpadnih voda, pre upuštanja u recipijent, predviđa se da se vrše najmanje dva postupka:

- nitrifikacija-denitrifikacija otpadne vode
- dezinfekcija otpadne vode

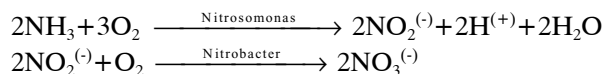
Nitrifikacija-denitrifikacija (tercijalni stepen prečišćavanja)

Uklanjanje azotnih jedinjenja biološkim postupkom nitrifikacije-denitrifikacije obavlja se u dve faze:

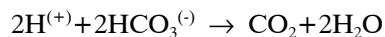
- u prvoj fazi amonijak u aerobnim uslovima oksidiše do nitrata (nitrifikacija) uz potrošnju rastvorenog kiseonika iz vode,
- u drugoj fazi se stvoreni nitrati u uslovima kada nema rastvorenog kiseonika u vodi redukuju do elementarnog azota (denitrifikacija)

Elementarni azot, N_2 , je slabo rastvorljiv gas, koji se desorpcijom uklanja iz vode.

U slučaju nitrifikacije, oksidacije amonijaka, dolazi do dvostepene reakcije:

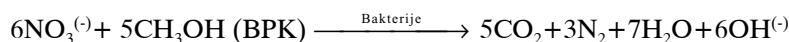


Bakterije Nitrosomonas i Nitrobacter vrše oksidaciju azota. $H^{(+)}$ reaguje sa alkalnošću iz vode i to je prikazano u sledećoj reakciji:



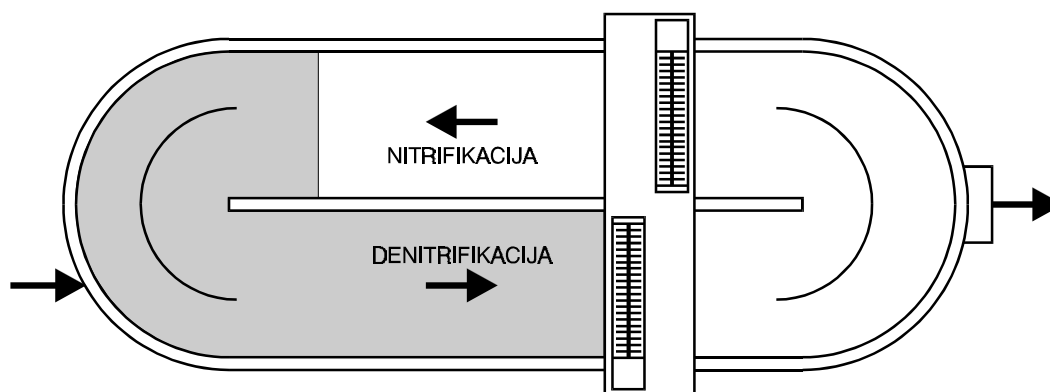
Iz reakcije se vidi da dva mola kiseonika O_2 smanjuju alkalnost za jedu mol pri čemu se proizvodi jedan mol ugljendioksida CO_2 .

U uslovima kada nema kiseonika u vodi bakterije koje oksidišu ugljenična jedinjenja su u stanju da potreban kiseonik dobiju redukcijom nitrata do elementarnog azota, i tako nastave proces oksidacije. Ovaj proces se zove denitrifikacija i mož se prikazati sledećom reakcijom:



Kao produkt reakcije stvara se gasoviti N_2 koji se desorbuje iz vode. Kao što se iz predhodne jednačine vidi prilikom denitrifikacije bakterije troše i BPK. Za obavljanje procesa biološke nitrifikacije - denitrifikacije otpadnu vodu je potrebno naizmenično izlagati aerobnim i anaerobnim uslovima. Proces se može odvijati u odvojenim bazenima (anaerobni bazen za denitrifikaciju i aerisani (aerobni) bazen za nitrifikaciju), ili u istom bazenu, pri čemu se u njemu moraju formirati anaerobne zone (slika 52). Prema preporukama renomiranih svetskih proizvođača procesne oprema za prečišćavanje otpadnih voda za proces nitrifikacije - denitrifikacije koristi se jedan bazen sa aerobnim i anaerobnim zonama. U nastavku je prikazana šema bazena za proces nitrifikacije - denitrifikacije.

Slika 52 Karusel bazen za nitrifikaciju-denitrifikaciju sa mamut rotorima



Usvojena je razmera zapremine dela bazena za denitrifikaciju (V_{DN}) prema ukupnoj zapremini bazena (V_{NB}) koja iznosi $V_{DN}/V_{NB}=0.5$

Potrebna zapremina bazena za nitrifikaciju / denitrifikaciju zavisi od organskog i zapreminskog opterećenja bazena, a određuje se iz izraza:

$$V_{NB} (\text{m}^3) = \frac{B_{NT}}{B_v} = \frac{B_{NT}}{B_{SM} \cdot SM_{BB}}$$

Organsko opterećeno bazena za nitrifikaciju / denitrifikaciju predstavlja izlazno organsko opterećenje iz procesa sekundarne (biološke) obrade, odnosno organsko opterećenje tretirane otpadne vode posle naknadnog taložnika - C_{NT} ($\text{kg BPK}_5/\text{m}^3$).

Organsko opterećenje vode u naknadnom taložniku - B_{NT} (kg BPK_5 na dan) se dobija iz koncentracije organskog opterećenja bazena za nitrifikaciju / denitrifikaciju - C_{NT} ($\text{kg BPK}_5/\text{m}^3$) i dnevnog hidrauličkog kapaciteta Q_{sr}^d (m^3 na dan), prema izrazu:

$$B_{NT} (\text{kgBPK}_5 \text{ na dan}) = C_{NT} \cdot Q_{sr}^d = 25 \cdot 10^{-3} \cdot 14000 = 350$$

Zapreminsko opterećenje bazena za nitrifikaciju / denitrifikaciju - B_v zavisi od opterećenja mase mulja organskom materijom - B_{SM} (kgBPK₅/kgSM na dan) i potrebne koncentracije suve materije mulja u bazenu za nitrifikaciju / denitrifikaciju - SM_{BB} (kgSM/m³):

$$B_v \text{ (kgBPK}_5 \text{ / m}^3 \text{ na dan)} = B_{SM} \cdot SM_{BB}$$

Opterećenje mase mulja - B_{SM} (kgBPK₅/kgSM na dan) zavisi od prostornog opterećenja nitrifikacionog bazena - B_{NB} (kgBPK₅/m³ na dan) i koncentracije suve materije u mulju - C_{SM} (kgSM/m³).

Za nisko organsko opterećenje bazena za nitrifikaciju/denitrifikaciju od 25 gBPK₅/m³ može se usvojiti koncentracija suve materije mulja u bazenu od:

$$SM_{BB} = 1.0 \text{ kgSM/m}^3$$

Za postojeće stanje ulaznih parametara u nitrifikacioni bazen su prethodno usvojene i projektovani sledeće vrednosti:

$$B_{NB} = 1.0 \text{ kgBPK}_5/\text{m}^3 \text{ na dan}$$

$$C_{SM} = 3.3 \text{ kgSM/m}^3$$

Zamenom datih vrednosti u navedenim relacijama dobija se:

$$B_{SM} \text{ (kgBPK}_5 \text{ / kgSM na dan)} = \frac{B_{NB}}{C_{SM}} = \frac{1.0}{3.3} = 0.3$$

$$B_v \text{ (kgBPK}_5 \text{ / m}^3 \text{ na dan)} = B_{SM} \cdot SM_{BB} = 0.3 \cdot 1.0 = 0.3$$

Tako se ukupna zapremina bazena dobija iz sledećeg izraza:

$$V_{NB} \text{ (m}^3 \text{)} = \frac{B_{NT}}{B_v} = \frac{350}{0.3} = 1166.4$$

Usvaja se ukupna zapremina bazena za nitrifikaciju / denitrifikaciju od $V_{NB} = 1\,200 \text{ m}^3$.

Specifične potrošnja kiseonika za nitrifikaciju / denitrifikaciju koja se definiše kao $O_{spec} = 2.5 \text{ kg O}_2 / \text{kg BPK}_5$. Potrebna količina kiseonika za nitrifikaciju /denitrifikaciju OC (kgO₂/dan) se određuje preko specifične potrošnje kiseonika O_{spec} i ukupnog dnevnog organskog opterećenja bazena za nitrifikaciju / denitrifikaciju - B_{NT} (kg BPK₅ na dan), prema relaciji:

$$OC \text{ (kgO}_2 \text{ / h)} = \frac{B_{NT} \cdot O_{spec}}{24} = \frac{350 \cdot 2.5}{24} = 36.46$$

Usvaja se potrošnja kiseonika za bazen za nitrifikaciju / denitrifikaciju od $OC = 37 \text{ kgO}_2/\text{h}$.

Za unos kiseonika će se koristiti mamut rotori. Za kapacitet unosa 7 kg O_2 na čas po dužnom metru aeracionog rotora (mamut rotora) pri uronu od 22.5 cm, usvajaju se dva mamut rotora dužine $2 \times 3 \text{ m} = 6 \text{ m}$ projektovanog kapaciteta $6 \text{ (m)} \cdot 7 \text{ (kg O}_2 \text{ po m na čas)} = 42 \text{ (kg O}_2 \text{ na čas)}$.

Za traženu potrošnju kiseonika za nitrifikaciju $OC = 37 \text{ kgO}_2/\text{h}$ potreban uron lopatica mamut rotora iznosi 20 cm.

Završna obrada hlorisanjem i odstojavanje u laguni

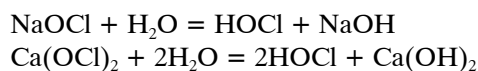
Pre ispuštanja prečišćene otpadne vode u recipijent mora se izvršiti njena dezinfekcija hlorisanjem. Obzirom na izabrani način prečišćavanja, hlorisanje će se vršiti u količini 5-10 mg Cl₂/l vode, pri čemu se mora voditi računa da na ispustu u recipijent koncentracija hlora u prečišćenoj vodi bude u dozvoljenim granicama za konkretni recipijent.

Zbog eventualno (uobičajeno) malog kapaciteta prijemnika mora se raditi dezinfekcija, najbolje mehanizmom oksidacije hlorom preko prelomne tačke. Korišćenje gasovitog hlora se za otvoreni bazen u konkretnoj situaciji ne preporučuje iz sledećih razloga:

- velika investicija u građevinske radove za hlornu stanicu
- visoki troškovi merno-regulacione tehnike u hlornoj stanici
- visoki troškovi u opremu za doziranje gasovitog hlora u odnosu na protok otpadne vode
- izdvajanje veće količine gasovitog hlora u okolnu sredinu usled niskog stepena iskorišćenja gasovitog hlora u otvorenom sistemu, što je dodatni ekološki problem
- viši stepen rizika za rad sa bocama pod pritiskom za tečni hlor
- sekundarne reakcije gasovitog hlora sa supstancama sadržanim u otpadnoj vodi pri čemu nastaju ekološki opasne materije po živi svet (trihalometani, hloramini, hlorfenoli idr.)
- visok stepen rezidualnog hlora u otpadnoj vodi i potreba za dehlorisanjem otpadne vode (postupak sa SO₂ ili aktivnim ugljem), što iziskuje postavljanje novog postrojenja i utrošak repromaterijala (hemikalija)

Mesto hlora bolje je koristiti Na-hipohlorit (NaOCl), a ako ima i fosfora u efluentu, onda je najbolje koristiti Ca-hipohlorit (Ca(OCl)₂-kaporit).

Hipohloriti reaguju istim mehanizmom kao i gasoviti hlor, oslobađanjem hipohloraste kiseline koja je dezinfekciono sredstvo.



Na-hipohlorit kao posledicu reakcije ima uvećani salinitet otpadne vode (Na-soli, koji su potpuno rastvorne), što u malim recipijentima mogu imati posledice po floru i faunu recipijenta.

Kaporit kao posledicu reakcije ima uvećanje bazne tvrdoće u otpadnoj vodi, koja usled prisustva slobodne ugljene kiseline u vodi (CO₂) prelazi u karbonatnu tvrdoću. Upotrebom kaporita dolazi do taloženja fosfornih materija u otpadnoj vodi u obliku Ca-soli, što umanjuje mogućnost eutrofikacije (bujanje flore) i uvećavanje mikrobiološke kontaminacije (nagli razvoj prisutnih mikroorganizama) u recipijentu.

Doziranje oba hipohlorita preko prelomne tačke uklanjaju se i zaostale azotne materije u otpadnoj vodi (denitrifikacija), tako da predstavljaju korektivni element za prethodni proces.

Dezinfekcija hlorom zahteva određeno vreme kontakta između vode i hlora (obično 30 min).

Potrebno vreme retenzije za proces hlorisanja kaporitom iznosi oko 30 min. Pošto je uloga kaporita u ovom procesu značajnija (uklanjanje fosfora, završna denitrifikacija) usvojeno vreme retenzije kaporita u bazenu treba biti značajno veće.

Poseban aspekt predstavlja vreme za prirodno dehlorisanje vode iz bazena (degaziranje viška hlora iz otvorenog bazena prirodnim mehanizmom), čime se štedi na dodatnim procesima hemijskog dehlorisanja. Ukupno vreme retenzije kaporita u bazenu se usvaja minimalno 12^h, što obezbeđuje da se svi navedeni procesi izvrše u zadovoljavajućem obimu.

Potrebna minimalna zapremina bazena za dezinfekciju kaporitom iznosi:

$$V_{BD} \text{ (m}^3\text{)} = Q_{\max}^d \cdot t_{\min} = 14000 \cdot 0.5 = 7000$$

Usvaja se bazen zapremine $V_{BD} = 10\,000 \text{ m}^3$. Za usvojenu dubinu vode od $h=2 \text{ m}$, biće potrebna površina bazena:

$$P_{BD} \text{ (m}^2\text{)} = \frac{V_{BD}}{h} = \frac{10000}{2} = 5000$$

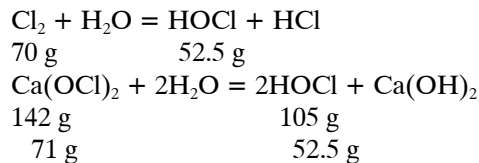
Za usvojenu dužinu bazena $L=100 \text{ m}$ i odnos strana 1:2 biće širina bazena:

$$b \text{ (m)} = \frac{100}{2} = 50$$

Vreme zadržavanja u bazenu za maksimalni kapacitet će biti:

$$t \text{ (h)} = \frac{V_B}{Q_{\max}^d} \cdot 24 = \frac{10000}{14000} \cdot 24 = 17.14$$

Potrošnja kaporita za hlorisanje je skoro ekvivalentna potrošnji gasovitog hlora za hlorisanje, što sledi iz masenih bilansa reakcija:



Kao što sledi iz masenog odnosa, potreba za gasovitim hlorom od 10 mg/l je ekvivalentna potrebi za Ca-hipohloritom (10 g/m^3), za dobijanje iste količine hipohloraste kiseline.

Kaporit je složena smeša koja sadrži oko 60% aktivnog hlora, tako da je potrošnja kaporita u odnosu na potrošnju hlora 1.67:1.0, pa je za $a=10 \text{ g/m}^3$ Ca-hipohlorita potrebno $a_1=16.67 \text{ g/m}^3$.

Srednja dnevna potrošnja kaporita iznosi:

$$G_{\text{KAP}}^d \text{ (kg na dan)} = a_1 \cdot Q_{\text{sr}}^d = 0.1667 \cdot 14\,000 = 2\,333.8$$

Usvaja se srednja dnevna potrošnja kaporita za dezinfekciju od $2\,400 \text{ kg na dan}$.

Potrebna zapremina 10% rastvora kaporita za dezinfekciju 1 m^3 otpadne vode za 1 dan iznosi:

$$Q_{\text{KAP}}^d \text{ (l na dan)} = G_{\text{KAP}}^d \cdot 10 = 2\,400 \cdot 10 = 24\,000$$

Usvaja se srednja dnevna potrošnja kaporita za dezinfekciju od 24 m^3 10% rastvora kaporita na dan.

Kaporit se dodaje u kanal ispred bazena u obliku rastvora hlornog kreča. Maksimalna satna potrošnja kaporita iznosi:

$$G_{\text{KAP}}^h \text{ (kg/h)} = a \cdot Q_{\max}^h = 0.1667 \cdot 847.58 = 141.30$$

Usvaja se maksimalna satna potrošnja hlornog kreča od $G_{\text{KAP}}^{\text{h}} = 142 \text{ kg/h}$

Maksimalna zapremina 10% rastvora kaporita za dezinfekciju 1 m^3 otpadne vode za 1 sat iznosi:

$$Q_{\text{KAP}}^{\text{h}*} (\text{l/h}) = G_{\text{KAP}}^{\text{h}} \cdot 10 = 142 \cdot 10 = 1420$$

Usvaja se maksimalna satna potrošnja hlornog kreča od $Q_{\text{KAP}}^{\text{h}} = 1.5 \text{ m}^3/\text{h}$

Hlorisanje kaporitom se može vršiti dozirnomo pumpom u odnosu na izmereni protok, ili odgovarajućim hlorinatorom.

Za hlorisanje otpadne vode predviđa se hidrohlorinator MN-2, pri čemu se hlorisanje vrši gravitacionim putem. Kao sredstvo za hlorisanje upotrebljavaće se kaporit (60% kalcijum hipohlorit, $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ koji se proizvodi u koncentraciji 10-12 % aktivnog hlora).

Napomena: Pošto kalcijum hipohlorit normalno slabi 1-2 % mesečno, usled razlaganja labilnog hlornog jedinjenja, to se ne preporučuje držanje veće zalihe od tromesečne potrošnje.

Proračun na osnovu koga će se izvršiti usvajanje rezervoara hidrohlorinatora radiće se za najnepovoljniji slučaj tj. $Q_{\text{max}}^{\text{h}}$:

Maksimalna količina 10% rastvora kaporita za 1 smenu iznosi:

$$Q_{\text{KAP}} (\text{m}^3) = Q_{\text{KAP}}^{\text{h}} \cdot t_{\text{n}} = 1.5 \cdot 8 = 12$$

$$t_{\text{n}} = 8^{\text{h}} \text{ -radni ciklus}$$

Iz kataloga se usvajaju dva hidrohlorinatora "MN-2", sa rezervoarom zapremine $3 \times 12000 \text{ l}$, za količinu 36 m^3 rastvora kaporita (maksimalna dnevna količina 10% rastvora kaporita). Radi pogonske bezbednosti u praksi je bolje imati dva uređaja za hlorisanje koji se koriste naizmenično ili pak samo u slučaju ako dođe do defekata na jednom uređaju.

Navedena količina od 36 m^3 zadovoljava 36^{h} rada pri srednje dnevnoj potrošnji.

Kako se dezinfekcija uobičajeno radi povremeno, na bazi pokazatelja iz analiza, pod pretpostavkom da se dezinfekcija maksimalno vrši oko 6^{h} na dan, zapremina rezervoara za rastvor kaporita bi trebala da efektivno pokrije najmanje oko nedelju dana rada na dezinfekciji otpadne vode na postrojenju.

Za sedmodnevnu dezinfekciju na postrojenju, pod navedenim režimom rada, proračunata srednja dnevna količina od 2400 kg biće dovoljna za nedelju dana rada.

Da li se hlorisanje vrši ispravno, odnosno da li voda sadrži dovoljnu količinu hlora, za sprovođenje uspešne dezinfekcije i zaštite od sekundarnog zagađenja, utvrđuje se merenjem hlorne koncentracije u vodi. Ova analiza se može vršiti u laboratoriji, ako ista stoji na raspolaganju. Za pogon je podesna jednostavna i brza metoda određivanja hlora pomoću hlor komparatora.

5.3.2. Linija obrade mulja

Mulj koji se sakuplja u primarnom taložniku sastoji se od istaloženog primarnog mulja iz sirovih otpadnih voda i viška aktivnog mulja iz sekundarnog taložnika biološkog dela postrojenja.

Ova mešavina sadrži organske supstance (60% - 80%) iz grupa ugljenih hidrata, masti i belančevina.

Obzirom da se u sirovom mulju nalaze u velikom broju razni mikroorganizmi to bi se u spontanom procesu bez dalje obrade uspostavljali spontani anaerobni mikrobiološki procesi. Ti procesi bi doveli do procesa vrenja u mulju koji nisu kontrolisani, što bi za posledicu imalo pojavu neugodnih mirisa na postrojenju, uz istovremeno pogoršavanje kvaliteta ceđenja odnosno sposobnosti dehidratacije mulja.

Da bi se sprečio neugodan miris na postrojenju i omogućilo nesmetano ceđenje mulja neophodno je izvršiti kontrolisanu stabilizaciju istog što se može postići na tri načina:

- fizičkim postupcima
- hemijskim postupcima
- biološkom razgradnjom

U fizičke postupke spada termička obrada mulja - pasterizacija, pri kojoj se vrši termičko uništavanje mikroorganizama, kao i termička koagulacija koloidnih organskih materija u mulju, usled čega organske materije bolje talože i dehidratišu, ili sušenjem, pri čemu se sadržaj vode u mulju veštačkim isušivanjem spusti ispod 30%.

Hemijskim postupcima se menjaju parametri sredine, pre svega pH, kao i sadržaj i koncentracije supstanci u mulju, koje blokiraju ćelijski metabolizam mikroorganizama, što predstavlja hemijsko uništavanje mikroorganizama, a takođe i izazivaju hemijsku koagulaciju koloidnih organskih materija u mulju. To se postiže na primer dodavanjem suspenzije kreča, tako da se pH mulja podigne iznad 10.

Međutim, mulj tretiran hemijskim postupcima nije trajno stabilizovan, jer eventualnim padom pH vrednosti mulja na neutralnu vrednost, u kasnijim fazama obrade ili skladištenja, ponovo se uspostavljaju neželjeni procesi vrenja koji su praćeni neugodnim mirisom i ostalim nepoželjnim propratnim pojavama. Ovim postupkom se ne postiže konačna stabilizacija mulja.

Treći postupak stabilizacije mulja je biološka stabilizacija, pri čemu se u navedenom procesu biološki razgradive organske supstance u mulju do te mere smanje, da mulj više ne predstavlja pogodno "hranjivo tlo", tako da se mikrobiološki procesi samo još lagano i bez smrada mogu odvijati. Struktura mulja tada omogućava, naročito posle razgradnje koloida (belančevina) relativno lagano ceđenje. U ovom slučaju se može govoriti o trajnoj stabilizaciji mulja.

Kod biološke stabilizacije mulja mikroorganizmima se u kontrolisanim procesima razmene materija smanjuje organski udeo sirovog mulja do željenog stepena stabilizacije. Ako se pri tome uspostavi proces anaerobne razmene materija, tada se vrši proces "truljenja". Ukoliko se procesi razgradnje odvijaju aerobno, uz dovođenje kiseonika iz vazduha, tada se vrši aerobna razgradnja mulja.

Da bi se proces anaerobne razgradnje sirovog mulja i viška mulja na postrojenju sproveo neophodno je predvideti određene objekte.

Tu su pre svega:

- primarni ugušćivač
- reaktor za anaerobno truljenje (digestori)
- sekundarni ugušćivač
- postrojenje za dehidrataciju stabiliziranog mulja, uključujući i pripremu hemikalija
- prateći objekti u koje ulaze pumpne stanice, rezervoar za gas, kotlarnica i sl.

– **Primarni ugušćivač**

Primarni ugušćivač je objekat na liniji obrade mulja koji ima ulogu da ugusti mulj i time delimično smanji gabarite građevinskih objekata i opreme u naknadnoj obradi mulja koja sledi iza njega.

Sirovi mulj i višak mulja iz mehaničko-biološkog dela postrojenja se povremeno evakuše potopljenim muljnim pumpama u količini od $Q = 20$ l/s, sa visinom dizanja od $H = 5$ m VS.

Usvajene su dve pumpe od kojih je jedna radna i jedna rezervna. Pumpe se nalaze pored primarnog taložnika.

Za dalju obradu izdvojenog mulja iz otpadne vode koncentrisanje čvrstih materija predstavlja važnu ekonomsku meru pošto je stepen delovanja i specifični učinak procesa anaerobne stabilizacije i ceđenja mulja viši što je veći sadržaj čvrstih materija u mulju koji se obrađuje. Iz tog razloga i na ovom postrojenju se teži za što većim sadržajem čvrstih materija u mulju.

U primarnom ugušćivaču se vrši statičko gravitaciono ugušćivanje mulja pri čemu se u gornjem delu ugušćivača obrazuje nadmuljna voda, iz koje se vrši slobodno taloženje čvrstih čestica ili pahuljica mulja. Dovod mulja se vrši u centralnu zonu bazena. Mulj koji se taloži ima dobru sposobnost tečenja i raspoređuje se preko dna bazena. Nadmuljna voda iz mulja se odvodi preko plivajućeg preliva, a ugušćeni mulj se odvodi u pumpnu stanicu za prebacivanje mulja u trulište. Da bi se ugušćeni mulj sakupio u levak ugrađeni su štitovi kao kod taložnika koji mulj lagano potiskuju u levak.

Dno ugušćivača je blago u padu od ivice prema sredini, kao kod okruglih taložnika.

Pogon zgrtača je centralni. Zgrtači su kombinovani sa rešetkastim šipkama, čiji je zadatak da razaraju stvrdnjavanja u slojevima mulja, oslobađaju gasne mehuriće i stvaraju slobodan put za odvajanje muljne vode. Na ovaj način se postiže jače ugušćivanje.

Dnevna količina mešanog mulja, koju je neophodno evakuisati iz mehaničko-biološkog dela postrojenja, može se izračunati na sledeći način:

- specifična produkcija mulja na postrojenju koga je potrebno naknadno stabilizovati je $q_{\text{spec.}} = 1.85$ l/ES na dan = 0.00185 m³/ES na dan
- projektovani kapacitet postrojenja, izraženo preko ekvivalentnog broja stanovnika iznosi 50 000 ES

Količina mulja koja će se proizvesti na postrojenju u primarnim taložnicima iznosi:

$$Q_M^d (\text{m}^3/\text{na dan}) = N_{\text{ES}} \cdot q_{\text{spec.}} = 50000 \cdot 0.00185 = 92.5$$

Koncentracija suve materije u mulju je $C_{\text{SM}} = 3\%$, odnosno 30 kg SM/m³.

Ukupna količina suve materije u sirovom mešanom mulju je:

$$G_{\text{SM}} (\text{kg SM na dan}) = Q_M^d \cdot C_{\text{SM}} = 92.5 \cdot 30 = 2775$$

Usvajajući površinsko opterećenje primarnog ugušćivača od $R_{\text{FM}} = 4.5$ kg SM/m² na čas, dobija se potrebna površina ugušćivača iz relacije:

$$P_{\text{PU}} (\text{m}^2) = \frac{G_{\text{SM}}}{R_{\text{FM}} \cdot 24} = \frac{2775}{24 \cdot 4.5} = 25.69$$

Iz ovog proizlazi da je prečnik primarnog ugušćivača $D = 5.75$ m.

Usvaja se primarni ugušćivač prečnika sledećih karakteristika:

- prečnik: $D_{PU} = 6 \text{ m}$
- dubine: $H_{PU} = 4.0 \text{ m}$
- površina: $P_{PU} = 28.27 \text{ m}^2$
- zapremina: $V_{PU} = 113 \text{ m}^3$.

Površinsko opterećenje primarnog ugušćivača za datu površinu će iznositi:

$$R_{FM} (\text{kgSM} / \text{m}^2 \cdot \text{h}) = \frac{G_{SM}}{P_{PU} \cdot 24} = \frac{2755}{28.27 \cdot 24} = 4.09$$

Vreme zadržavanja mešanog mulja u ugušćivaču isnosi:

$$t_2 (\text{dan}) = \frac{V_{PU}}{Q_M^d} = \frac{113}{92.5} = 1.22$$

Koncentracija suve materije mešanog mulja koji dolazi u ugušćivač je $C_{m1} = 3\%$. Nakon ugušćivanja u ugušćivaču koncentracija suve materije se kreće između $C_{m2} = 5 - 6\%$.

Usvaja se da će koncentracija mulja iznositi $C_{m3} = 5.5\%$.

Nakon ugušćivanja dobiće se sledeća količina ugušćenog mulja:

$$Q_{UM}^d (\text{m}^3 / \text{na dan}) = Q_M^d \cdot \frac{C_{m1}}{C_{m3}} = 92.5 \cdot \frac{3}{5.5} = 50.45$$

Prema tome, količina nadmuljne vode koja će se svakodnevno evakuisati iz ugušćivača i nazad vraćati u proces iznosi :

$$Q_{MV} (\text{m}^3 / \text{na dan}) = Q_M^d - Q_{UM}^d = 92.5 - 50.45 = 42.05$$

Iz ugušćivača, ugušćeni mulj se povremeno u toku dana ispušta u crpni bazen odakle se pumpom transportuje na dalju obradu u trulišta.

Dinamika ispuštanja ugušćenog mešanog mulja i njegova dalja obrada u trulištu će se utvrditi u samom pogonu zavisno od pogonskih uslova.

– Anaerobna obrada mulja

Anaerobni postupak obrade mulja predstavlja postupak tretmana otpadnog mulja pomoću mikroorganizama u odsustvu kiseonika, pri čemu se oko 80% hemijski vezane energije u biorazgradljivim supstancama prevode u bio gas.

Anaerobni postupak obrade mulja je energetski mnogo povoljniji od aerobnog postupka, pošto se osim ušteda na unetoj energiji (pre svega za prenos kiseonika i kinetiku procesa), kao produkt dobija i bio gas koji se može koristiti kao energent.

Anaerobni postupak obrade mulja je podobniji od aerobnog i stoga što nije ograničen organskim opterećenjem otpadnih materijala. Aerobni postupci su ograničeni na nivou potreba za kiseonikom od 400 - 600 mgO₂/l na čas, što je posledica brzine prenosa kiseonika, dok anaerobni procesi mogu prerađivati i jako visoka opterećenja, koja ponekad mogu dostizati i do 30 000

mgO₂/l na čas. Kako su otpadni muljevi visoko opterećeni organskim sadržajem, to su anaerobni postupci mnogo povoljniji od aerobnih po pitanju kriterijuma organskog opterećenja za tretman otpadnih muljeva, primarnog i izreagovalog aktivnog mulja, iz postupaka obrade kanalizacionih voda.

Prinos mase kod anaerobnih postupaka (nova bakterijska masa) je daleko niži od prinosa mase kod aerobnih postupaka, pa se aktivni mulj ne mora dalje tretirati i stabilizovati, te je i sa tog stanovišta anaerobni postupak povoljniji od aerobnog za tretman otpadnih muljeva.

Nedostatak anaerobnih postupaka u odnosu na aerobne, koji se pre svega ogleda u složenijim i sporijim reakcijama tokom procesa, za posledicu ima veće gabarite uređaja u sistemu od uređaja kod aerobnih procesa.

Složenost reakcija kod anaerobnih postupaka se pre svega ogleda u užim granicama fizičkih i hemijskih parametara reakcija (temperatura, pH i drugo), tako da su upravljanje i regulacija anaerobnih procesa mnogo složeniji od upravljanja i regulacije procesa kod aerobnih procesa.

Navedene prednosti anaerobnog postupka su mnogostruko značajnije od navedenih nedostataka anaerobnih procesa u odnosu na aerobne procese, tako da su, globalno gledano, anaerobni postupci tretmana mulja kako tehnološki, tako i ekonomski značajno povoljniji od aerobnih postupaka.

Suština anaerobnih procesa se ogleda u trostepenoj razgradnji organskih materija:

- **Prvi stepen postupka** predstavlja ekstracelularni proces pripreme biodegreabilnih supstanci za procese vrenja.
- **Drugi stepen postupka** predstavlja intracelularno bakterijsko kiselo vrenje.
- **Treći stepen postupka** predstavlja intracelularno bakterijsko metansko vrenje.

Krajnji produkt anaerobne razgradnje je bio gas, koji je u osnovi gasna smeša metana i ugljen dioksida.

Navedeni postupci se odvijaju pod dejstvom mikroorganizama, kako u samim ćelijama mikroorganizama, tako i van ćelija u okolnoj vodi.

U odnosu na posmatrane celine, odnosno operacije u postupcima, anaerobni tretman se može svrstati u V fazu:

I faza - Faza ekstracelularne enzimske razgradnje

U prvoj fazi anaerobnog postupka se složene organske materije (visokomolekularne supstance, polisaharidi, belančevine masti i druge) razgrađuju na sastavne komponente (niskomolekularne), tako što se u vodi nerastvorne materije, hidrolizom, izazvanom ekstracelularnim enzimima koje izlučuju mikroorganizmi, razlažu i prevode u vodeni rastvor. Ova faza se naziva najčešće **fazom utečnjavanja mulja**.

II faza - Faza unošenja rastvorenih organskih supstanci u ćeliju

U drugoj fazi anaerobnog tretmana se rastvorne niskomolekularne supstance, kao i prethodno razgrađene i rastvorene visokomolekularne supstance, transportuju kroz polupropustljivu membranu ćelija mikroorganizama unutar ćelija. Ova faza se naziva najčešće **fazom transporta hranljivih materija**.

III faza - Faza intracelularne enzimske razgradnje

U trećoj fazi anaerobnog tretmana se, unete rastvorene organske materije, unutar ćelija, razlažu na isparljive organske kiseline, alkohole i slična organska jedinjenja, uz oslobađanje određene količine gasova ugljen dioksida i vodonika, pod dejstvom enzima - "kiselinskih" bakterija (bakterije kiselinskog vrenja). Ova faza se najčešće naziva **faza kiselinskog vrenja**.

IV faza - Faza finalne enzimske razgradnje

U četvrtoj, poslednjoj fazi anaerobnog postupka, produkti kiselinskog vrenja, lako isparljive organske materije, mahom organske kiseline, se dejstvom metanskih bakterija razlažu na: metan, ugljen dioksid i druge gasovite komponente u manjem obimu. Ova faza se najčešće naziva **faza metanskog vrenja**.

V faza - Faza izluživanja nerazgrađenih ostataka

U petoj, poslednjoj fazi anaerobnog postupka, nerazgrađene supstance, kao i neki, mahom čvrsti produkti razgradnje, se izlužuju iz tela mikroorganizama i talože u sloju mikroorganizama, u muljnim pahuljicama, čime se uvećava masa muljnih pahulja. Ova faza se najčešće naziva **faza mineralizacije mulja**.

Kod navedenih postupaka, odnosno faza anaerobnog postupka, najkritičniji je prelaz između kiselinskog i metanskog vrenja. Proces kiselinskog vrenja i metanskog vrenja se međusobno jako razlikuju, kako po vrsti i metabolizmu bakterija, tako pre svega po faktorima koji utiču na proces vrenja, a najviše po pH i temperaturi procesa.

Niži pH, koji je posledica kiselinskog vrenja, deluje inhibitorski na postupak metanskog vrenja, a veći padovi pH u toku kiselinskog vrenja mogu potpuno uništiti metanske bakterije.

Izvođenje ovog složenog postupka dvostepenog procesa vrenja u jednom reaktoru je skopčano sa dosta značajnih poteškoća i često dolazi do poremećaja parametara u sistemu, koji za posledicu najčešće imaju stradanje metanskih bakterija, čime se proces prekida. Mnogo je sigurnije proces raditi u dve faze, tako što će se kiselinsko i metansko vrenje izvoditi u odvojenim sudovima pod različitim uslovima, čime se postiže optimum za aktivnosti obe vrste mikroorganizama i proces je neuporedivo stabilniji i lakši za regulaciju.

Stoga je bolje predvideti dvostepenu digestiju u grejanim trulištima pri čemu se mulj greje do temperature od oko $t \approx 35^{\circ}\text{C}$. Pod ovim temperaturnim režimom, sa maksimalnom oscilacijom temperature od $1-2^{\circ}\text{C}$, ostvaruje se mezofilni proces čime se ubrzava metansko vrenje, a time i količina izdvojenog gasa.

Anaerobno metansko vrenje izaziva znatno smanjenje volumena mulja, tako da se približno jedna polovina organskog opterećenja koja je sadržana u mulju tom prilikom razgradi. U procesu anaerobne razgradnje organskih materija stvara se trulišni gas koji je po svom uobičajenom sastavu gasna smeša metana cca 60-70% i ugljen dioksida cca 20-30%, sa sadržajem niza drugih gasovitih produkata koji su u znatno manjoj količini. Odnos metana i ugljen dioksida varira u zavisnosti od tipa reaktora, a značajnije promene u ovom odnosu tokom rada reaktora ukazuju da je došlo do poremećaja u radu reaktora.

Da bi se proces razlaganja i stabilizacije mulja uspešno odvijao neophodno je pored određene temperature ostvariti što bolji kontakt mulja u digestoru, što se postiže mešanjem sadržaja trulišta cirkulacionim pumpama. Na taj način se u trulištu održava turbulencija, a time i obnavljanje kontaktnih površina.

U trulištu se dovodi određena količina sirovog mulja i mulj iz trulišta u odnosu 1:2 ili 1:1.

Na taj način se postiže pelcovanje novog mulja metanskim bakterijama tako da sirovi mulj koji dolazi u trulište ne pravi udar i zastoj u procesu truljenja čime se takođe postiže predgrevanje sirovog mulja. Mešanje ove dve vrste mulja se ostvaruje u uređaju koji ima oblik račve i naziva se injektorski mešač posle čega pomešani mulj prolazi kroz protivstrujne toplotne izmenjivače gde se indirektno zagreje pomoću tople vode do određene temperature i kao takav ulazi u trulište.

Cirkulacioni (injektorski) mulj se uzima iz prvog trulišta sa raznih nivoa iz vrha ili sredine trulišta, zavisno od načina vođenja pogona.

Istovremeno se punjenjem trulišta I stepena (kiselinsko vrenje) određena količina mulja iz trulišta I stepena potiskuje iz sredine u trulište II stepena (metansko vrenje), takođe u sredini posude. Za vreme prepumpavanja zagrejanog mulja u trulište I i potiskivanja dela mulja iz trulišta I u trulište II, istovremeno se potiskuje i odvodi iz trulišta II naizmenično istruleli mulj i mutna voda.

Mulj se odvodi u naknadni ugušćivač, a mutna voda nazad u proces prečišćavanja. Evakuacija istrulelog mulja ili mutne vode se vrši naizmenično i zavisno od odnosa u trulištu evakuise se dva dana mutna voda, a jedan dan istruleli mulj. Dinamika ispuštanja navedenih medija će određivati odgovorno osoblje na postrojenju zavisno od pogonskih uslova na postrojenju.

U periodu niskih temperatura, a u cilju održavanja konstantne temperature u trulištu, nakon završetka procesa punjenja trulišta I svežim muljem neophodno je produžiti cirkulaciju trulog mulja iz trulišta I. Navedeni mulj prolazi isti put kao i sirovi mulj, injektovski miješač i protivstrujni izmenjivač toplote, pri čemu se cirkulacioni mulj zagreje i tu toplotu prenosi na mulj u trulištu. Na taj način se održava potrebna temperatura trulišta jer u slučaju sniženja temperature dolazi do znatnih poremećaja u procesu truljenja, odnosno anaerobne stabilizacije mulja.

Cirkulacija mulja iz trulišta se vrši cirkulacionim pumpama toliko dugo koliko to uslovljavaju vremenske prilike - spoljna temperatura vazduha, odnosno toliko koliko zahteva konstantno držanje temperature trulišta.

Na ovaj način se takođe postiže delimično mešanje sadržaja trulišta.

Za intenzivno mešanje mulja u trulištu I i II koristi se gas koji se produkuje u samom trulištu.

Naime, smeša gasa (CH_4 i CO_2) koji se produkuje u trulištu se prihvata u peseban tretman preko šljunčanih filtera komprimira i utiskuje preko specijalnih distributera u trulišta I i II.

Utiskivanjem gasa u trulišta i njegovim kretanjem prema vrhu levka trulišta, dolazi do intenzivnog mešanja, a time i do ubrzanja procesa truljenja.

U toku navedenog procesa uduvavanja komprimiranog gasa dolazi do izdvajanja specifično lakšeg materijala na površini trulišta, tako da se formira plivajuća kora koja je nepoželjna iz više razloga.

Koru čine pre svega: dlake, ostaci drveta, masti i slično i dužim stajanjem teže da formiraju kompaktni plivajući pokrivač. Da bi se sprečilo formiranje plivajuće kore predviđene su u svakom trulištu specijalne mešalice sa spiralnim zavojnicama. Mešalice su tako konstruisane da pri svom radu plivajuću masu potiskuju ka unutrašnjosti trulišta i na taj način razaraju odnosno sprečavaju stvaranje kompaktne plivajuće kore.

Trulišta su tako konstruisana da se iz njih povremeno može uklanjati plivajuća kora. Oprema oba trulišta je identična i simetrično montirana tako da oba trulišta mogu raditi u nizu paralelno ili da samo radi jedno trulište dok je drugo u remontu.

Ukoliko postrojenje za stabilizaciju mulja radi u dva stepena, što je i predlog projektanta, tada se u I stepenu anaerobne razgradnje razgrađuju visokomolekularne organske materije fakultativnim anaerobnim bakterijama u niže masne kiseline (sirćetnu i propionsku kiselinu), alkohol, vodonik i ugljendioksid. Složene visokomolekulske organske materije se ekstracelularnim enzimima prethodno prevode u otopljenu formu.

Otuda se ovaj stepen razgradnje naziva i "kiselno vrenje", "kiselno truljenje - vodonikom" ili "faza prevođenja mulja u tečnu formu". Za ovaj proces u trulište I dospevaju sa sirovim muljem, u velikom broju razne vrste bakterija.

U II stepenu, metanske bakterije dalje prerađuju formirane međuproizvode u metan, amonijak i ugljen dioksid. Nasuprot mnogim različitim vrstama bakterija, koje vrše prvi stepen razgradnje, postoji ograničeni broj vrsta bakterija koje su u stanju da dalje obrađuju međuproizvode prvog stepena u metan.

Takozvane metanske bakterije imaju malu brzinu rašćenja i njihov opstanak i brzina rašćenja zavise od više različitih faktora, kao što su:

- pH - vrednost
- temperatura
- sadržaj organskih kiselina
- sadržaj azota
- sadržaj fosfora
- sadržaj otrovnih materija.

PH je parametar od koga bitno zavisi kvalitet metabolizma metanskih bakterija i optimalno treba da se kreće u granicama od 6 - 8.5. U prvoj fazi procesa nastaju organske kiseline koje jako obaraju pH, čak i do vrednosti 3, pa se proces mora voditi sa puferom. Kako je od svih organskih kiselina najveća koncentracija sirćetne kiseline, najbolje je raditi sa acetatnim puferom (smeša NH_4HCO_3 i CH_3COOH), koji neutrališe višak kiseline amonijumhidrokarbonatom, a višak alkalija kiselinom. Od značaja za određivanje količine pufera u sistemu je pre svega odnos ugljen dioksida i alkaliteta (karbonata) u sistemu, odnosno ravnoteža karbonati/bikarbonati.

Temperatura je takođe bitan faktor za dejstvo metanskih bakterija pa se druga faza mora naknadno grejati, odnosno mora se održavati što konstantnija temperatura u reaktoru u granicama od 33-37°C, što se postiže grajanjem mulja u recirkulaciji provođenjem kroz grejače.

Proces truljenja se odvija optimalno samo u slučaju ako su brzine razgradnje u oba stepena približno jednake. Proces truljenja se odvija najbrže pri povećanoj temperaturi i stalnom mešanju sadržine trulišta.

Kao što je napred navedeno usvojen je mezofilni tip trulišta sa dvostepenom anaerobnom digestijom uz grejanje sadržaja trulišta na konstantnu temperaturu od $t = 35^\circ\text{C}$.

Osnovni podaci za dimenzionisanje trulišta su:

- Zapremina sirovog mulja koji dolazi iz primarnog ugušćivača	$V_M = 50.45 \text{ m}^3 \text{ na dan}$
- Koncentracija suve materije u ugušćenom mulju	$C_{\text{SM-UM}} = 55 \text{ kg SM/m}^3$
- Dnevna količina suve materije koju je potrebno tretirati u trulištu	$G_{\text{SM}} = 2\,775 \text{ kg SM na dan}$
- Sadržaj organskih materija u ukupnoj količini suvih materija (70%)	$G_{\text{OM}} = 1\,942.5 \text{ kg SM na dan}$
- Redukcija organskih materija usled digestije (50%)	$\Delta G_{\text{OM}} = 971.25 \text{ kg SM na dan}$
- Minimalno vreme retenzioniranja ugušćenog mulja u digestoru I	$t_R = 16 \text{ dana}$

Zahtevani kapacitet digestora I stepena je:

$$V_{D1} (\text{m}^3) = Q_{\text{UM}}^d \cdot t_R = 50.45 \cdot 16 = 807.2$$

Usvaja se armirano-betonski digestor cilindračnog oblika sa nagibom dna prema središtu digestora, dimenzija:

- prečnik: $D_{D1} = 11 \text{ m}$
- visina: $H_{D1} = 9.5 \text{ m}$
- zapremina: $V_{D1} = 902.8 \text{ m}^3$

Zapremina digestora II stepena je takođe $V_{D2} = 902.8 \text{ m}^3$.

Ukupna zapremina digestora I i II je $V_{DU} = 1 805.6 \text{ m}^3$.

Opterećenje zapremine oba digestora suvom organskom supstancom iznosi:

$$R_{SMV} (\text{kgVM} / \text{m}^3) = \frac{G_{OM}}{V_{DU}} = \frac{1942.5}{1805.6} = 1.08$$

Opterećenje zapremine prvog digestora suvom organskom supstancom iznosi:

$$R_{SMV-1} (\text{kgVM} / \text{m}^3) = \frac{G_{OM}}{V_{D1}} = \frac{1942.5}{902.8} = 2.15$$

Opterećenje zapremine prvog digestora je manje od 2.4 kg VM/m^3 na dan, a predstavlja maksimalno dozvoljeno opterećenje volatilnih (organskih) materija.

Posle digestije II stepena i dodatnog stabilizovanja i ugušćenja mulja, isti se povremeno, zavisno od pogonskih uslova evakuise iz sistema.

Koncentracija suve materije nakon digestora II je:

$$C_{SM2} = \text{cca } 4.2\%$$

Prema tome, sirovi mulj dolazi iz primarnog ugušćivača sa $C_{SM2} = 5.5\%$ suve materije, a iz digestora II stepena izlazi sa $C_{SM2} = 4.2\%$ suve materije, uz konstataciju da se u procesu digestije razgradi cca 50% organskih materija.

Svi navedeni proračuni u vezi količine i koncentracije obrađivanog mulja i nadmuljne vode su orijentacioni i zavise od načina vođenja procesa, kao i pogonskih uslova na samom postrojenju.

– Naknadni ugušćivač stabilizovanog mulja

Posle svih opisanih procesa koji se odvijaju u digestorima i anaerobne stabilizacije mulja isti se povremeno vadi iz digestora II stepena i dalje obrađuje da bi se doveo u formu u kojoj se može nesmetano odlagati na uređenu deponiju ili koristiti u druge svrhe.

Radi unificiranja opreme, usvojen je ugušćivač istih dimenzija i karakteristika kao što je i primarni ugušćivač.

Ugušćivač radi diskontinuirano, zavisno od dinamike evakuacije stabilizovanog mulja iz digestora. Nadmuljna voda se preko plivajućeg preliva vraća nazad u proces, dok se ugušćeni mulj, sa 4.2% na 6.0% odvodi na dehidraciju na filter prese.

Ovde je potrebno naglasiti da je evakuacija stabilizovanog mulja iz digestora diskontinuirana i da je zbog toga u ugušćivaču potrebno tu neravnomernost izravnati i omogućiti nesmetano filtriranje mulja na filter presama. Stabilizacija protoka mulja (prelaz sa periodičnog-šaržnog dotoka mulja u ugušćivač i kontinuiranog odvođenja mulja na prese) vrši se dimenzionisanjem taložnika na vremenski period od 7 dana šaržnog dotoka mulja. Time se obezbeđuje uvek dovoljna količina mulja za neprekidno napajanje presa, bez obzira na periodično (šaržno) dopremanje mulja u taložnik.

Naknadni ugušćivač ima sledeće karakteristike:

— prečnik	$D_{NU} = 6.0 \text{ m}$
— dubina vode	$H_{NU} = 4.0 \text{ m}$
— površina:	$P_{NU} = 28.3 \text{ m}^2$
— zapremina:	$V_{NU} = 113 \text{ m}^3$

Ukoliko se proces digestije bude odvijao prema usvojenim normativima datim od strane projekatana ovog postrojenja, i ako diskontinuirana, produkcija stabilizovanog mulja u toku 7 dana na postrojenju će iznositi:

$$Q_{MND} \text{ (m}^3 \text{ nedeljno)} = Q_{UM} \cdot t_R = 50.45 \cdot 7 = 353.15$$

Ugušćivanjem sa 4.2 % suve materije na 6.0 % dobiće se količina mulja od :

$$Q_{UMN} \text{ (m}^3 \text{ nedeljno)} = 353.15 \cdot \frac{4.2}{6.0} = 247.2$$

Razlika predstavlja nadmuljnu vodu. Količina nadmuljne vode, koja se preko preliiva odvlači u internu kanalizaciju, iznosi:

$$Q_{MV} \text{ (m}^3 \text{ nedeljno)} = Q_{MND} - Q_{UMN} = 353.15 - 247.2 = 106$$

Prema navedenom, količina stabilizovanog mulja od $Q_{UMN} = 247.2 \text{ m}^3$, koja se produkuje u toku sedam dana, treba da se obradi na filter presama tako da se dobije kompaktna masa koja će se odlagati na deponiju.

– **Dehidracija mulja**

Dalja obrada stabilizovanog, ugušćenog aktivnog mulja se vrši procesom dehidracije na filter presama.

Muljna suspenzija se pre potiskivanja kroz filter presu mora hemijski obraditi dodatkom krečne suspenzije i flokulanta, što obezbeđuje bolju dehidraciju i ukрупnjavanje koagulanata, čime se pospešuje proces ceđenja mulja. Za pripremu ovih hemikalija neophodno je predvideti određenu opremu.

Za olakšavanje procesa filtriranja stabilizovanog mulja na trakastim filter presama, u naknadnom ugušćivaču ispred filter prese u mulj se dozira krečna suspenzija, a određeno flokulaciono sredstvo se dozira u usisni cevovod pumpe visokog pritiska.

Rastvor 5%-nog krečnog mleka će se dozirati dozir pumpom u količini od $Q = 15 - 25 \text{ l/h}$, pri čemu će se dobijati muljna suspenzija čija će pH vrednost iznositi cca 10 - 11. Iz reakcionog bazena, koji je ujedno i crpni bazen, stabilizovani mulj se crpi klipnim pumpama na prese.

Usisni vod ispred pumpe se dozira rastvor polielektrolita u količini od $q = 150 \text{ gr/m}^3$ mulja.

Priprema 5%-nog rastvora krečnog mleka će se vršiti u čeličnoj cilindričnoj posudi koja je snabdevena mešalicom, poklopcem i svim ostalim potrebnim spojnim elementima.

Zapremina posude je $V = 2\ 000 \text{ l}$, a doziranje će se vršiti dozir pumpama u količini od cca 15 - 25 l/h krečnog mleka.

Rastvor polielektrolita u koncentraciji od 0.5% će se pripremati na sledeći način:

- u jednoj posudi, iste konstrukcije i zapremine kao za pripremu krečnog mleka, će se pripremati primarni rastvor polielektrolita 1% koncentracije,
- nakon pripreme 1%-nog rastvora polielektrolita isti će se prepumpavati u dve posude iste zapremine uz razblaženje do koncentracije od 0.5%.

Posude su snabdevene mešalicama i svim drugim potrebnim priključcima.

Potrebna količina polielektrolita, koja će se dozirati u mulj, iznosi:

$$q_1 = 150 \text{ gr/m}^3$$

$$q_2 = 150 \text{ gr/m}^3 \cdot 50.45 \text{ m}^3 \text{ na dan} = 7.57 \text{ kg na dan}$$

Potrebna dnevna količina $C_{PE}=0.5\%$ rastvora polielektrolita iznosi:

$$Q_{PE} \text{ (l na dan)} = \frac{q_2}{C_{PE}} = \frac{7.57}{0.5} \cdot 100 = 1514$$

Primarni rastvor će se pumpom kapaciteta $q = 3.0 \text{ m}^3/\text{h}$ prepumpavati u posude gde će se potom pripremati sekundarni rastvor. Kapacitet dozirne pumpe za doziranje sekundarnog rastvora polielektrolita iznosi $Q_{PPE} = 0 - 500 \text{ l/h}$.

Trakasta filter presa

Imajući u vidu da ukupna količina stabilizovanog mulja, koja bi trebala dnevno da se obrađuje na trakastoj filter presi iznosi $Q = 35 \text{ m}^3$ na dan, usvaja se trakasta filter karakteristika sličnih kao trakasta filter presa "PASSAVANT" tip SIBAMAT 2 125.

Kapacitet usvojene trakaste filter prese iznosi $Q = 6 \text{ m}^3/\text{h}$ obrađene muljne suspenzije.

Radni period u toku sedam dana iznosi $t_1 = 5$ dana, a u toku dana $t_2 = 8$ časova.

Prema tome ukupna dnevna količina stabilizovanog mulja koja će se obrađivati na trakastoj filter presi u toku pet dana, a 8 sati dnevno, iznosi:

$$Q_{PR} = 49.44 \text{ m}^3 \text{ na dan} \cong 50 \text{ m}^3 \text{ na dan} = 6.25 \text{ m}^3/\text{h}$$

Usvajaju se dve trakaste filter prese koje će raditi paralelno sa pojedinačnim kapacitetom $Q_{TP} = 6 \text{ m}^3/\text{h}$.

Filtriranjem mulja na trakastoj filter presi dobija se filterski kolač sa cca 25% suve materije. Filterski kolač se kontinuirano evakuše i trakastim transporterom odlaže u kontejner.

Procedna voda nakon procesa filtracije na trakastoj filter presi se vraća u proces a filterski kolač sa 25% čvrste materije trakastim transporterom u kontejner i dalje na deponuju.

– Produkcija i korišćenje gasa

U procesu anaerobnog tretmana mulja kao jedan od produkata se pojavljuje se biogas koji je mešavina cca 60-70% metana i cca 20-30% ugljen dioksida.

U digesterima dolazi do biohemijskih reakcija i razlaganja organskih supstanci prisutnih u sirovom mulju, pri čemu dolazi do smanjenja zapremine organskih materija na račun produkcije gasovitih komponenti. Srednja donja toplotna vrednost proizvedene mešavine biogasa iznosi oko $J = 21\,800 \text{ KJ}/\text{Nm}^3$.

Specifična produkcija gasa iz sirovog mulja zavisna je od porekla mulja a u ovom slučaju, gde se radi o otpadnim vodama grada i industrije, može se usvojiti da ona iznosi $q_{spec} = 30 \text{ l/ES na dan} = 0.030 \text{ m}^3/\text{ES na dan}$.

Prema tome, za kapacitet postrojenja od $N_{ES} = 50\,000 \text{ ES}$ može se očekivati sledeća produkcija gasa:

$$Q_{BG}^d \text{ (Nm}^3 \text{ na dan)} = N_{ES} \cdot q_{spec} = 50\,000 \cdot 0.030 = 1\,500$$

Raspoloživa toplotna vrednost proizvedenog gasa u toku dana iznosi:

$$J_{BG}^d \text{ (KJ na dan)} = J \cdot Q_{BG}^d = 21.8 \cdot 10^3 \cdot 1\,500 = 32.7 \cdot 10^6$$

Biogas ne nastaje ravnomerno u toku dana. Obzirom da se u digestore povremeno unosi sveži mulj a sa njim i hranjive materije, to je produkcija gasa najintenzivnija oko 2 sata posle punjenja digestora svežim muljem. Iza toga postepeno opada produkcija gasa da bi se povećala pri ponavljanju navedenog ciklusa.

Povećana produkcija gasa se javlja i u periodu uduvanja biogasa u digestore, radi homogenizacije celokupne mase digestora, kada dolazi do optimalne raspodele hranjivih materija po reakcionoj površini substrata.

Istovremeno ovaj proces izaziva potpuno izdvajanje gasa iz mulja koji truli, pri čemu mali mehurići gasa koji nastaju u pojedinačnim pahuljama mulja bivaju otrgnuti i terani na gore.

Uduvanjem već proizvedenog bio gasa u digestore takođe nastaje udarni porast količine gasa u digestorima kojeg je potrebno prihvatiti i lagerovati na određena i sigurna mesta.

U tom smislu je predviđen gasni balon - rezervoar za prihvatanje proizvedenog bio gasa, koji se potom koristi za razne svrhe.

Sam prihvatanje bio gasa, njegovo čišćenje, filtriranje kroz šljunčane i keramičke filtre, uklanjanje eventualno prisutne vode i slično, kao i definitivno dimenzionisanje svih cevovoda, izvršiće se od strane isporučioaca osnovne opreme za tretman mulja.

Rezervoar za gas, dakle, služi za sakupljanje gasa i za izjednačavanje pritiska, odnosno održavanje pritiska u gasnom sistemu.

Usvoja se rezervoar za gas, zapremine $V_{RG} = 350 \text{ m}^3$.

U rezervoaru se nalazi šljunčani filter koji služi kao osigurač od povratnog plamena sa baklje, kao i za i za sušenje gasa.

Između rezervoara za gas i digestora je ugrađena baklja, povezana sa rezervarom za gas, koja služi da bi se višak gasa koji nije momentalno potreban, ili gas nedovoljnog kvaliteta za skladištenje, mogli spaliti.

Proizvedeni biogas se može koristiti kao energetska sredstvo za dobijanje toplote. Toplota se može koristiti za zagrevanje trulišta na taj način što će se grejati sveži sirovi mulj na procesnu temperaturu. Pored toga neophodno je kompenzovati gubitak temperature koji se javlja usled radijacije sa velike površine trulišta.

U zimskom periodu neophodno je grejati i pogonske prostorije što se takođe može vršiti pomoću biogasa.

Celokupni sistem za sagorevanje biogasa i proizvodnju toplote se sastoji od:

- kotlovskog postrojenja
- sabirne i razvodne baterije sa pumpama i cevovodima
- izmenjivača toplote za indirektno zagrevanje mulja

Kotlarnica se potpuno automatizuje, tako da raspolaže potpuno automatizovanim gorionicima za biogas i zemni gas.

Tačnu veličinu kotlarnice, broj, kapacitet i kaloričnu vrednost kotlova određuju energetičari prilikom izrade glavnih izvođačkih projekata grejanja.

5.3.2. Hidraulički proračun po liniji vode

Ukupne količine otpadnih voda za navedeno postrojenje će biti:

- $Q_{sr}^d = 50\,000 \cdot 280 \text{ l/st na dan} = 14\,000 \text{ m}^3 \text{ na dan} = 162.04 \text{ l/s}$
- $Q_{max}^d = 1.25 \cdot 162.04 = 202.55 \text{ l/s}$
- $Q_{max}^h = 1.453 \cdot 162.04 = 235.44 \text{ l/s}$

Hidraulički proračun početak je od recipijenta. Za primer će biti prikazan hidraulički proračun za rečni recipijent.

Neka je sa ∇R označena kota vode u reci (nivo velike vode), a sa ∇L - kota vode u laguni.

5.3.2.1. Proračun cevovoda od lagune (retenzije) do izliva u recipijent

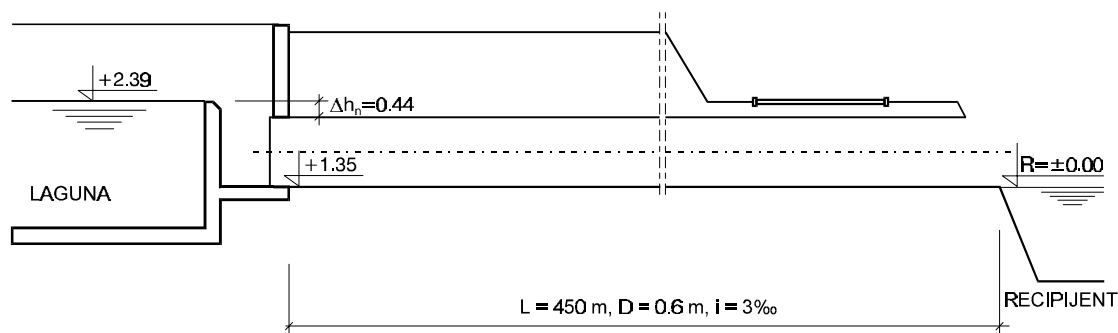
Cevovodom će se transportovati količina prečišćene vode od $Q_{max}^h = 0.23544 \text{ m}^3/\text{s}$, pa će to biti merodavna količina za dimenzionisanje cevovoda. Tečenje u cevovodu je sa slobodnom površinom,

Usvojena je azbest cementna cev $\varnothing 600 \text{ mm}$.

Maksimalno očekivana količina vode u cevovodu je $Q_{max}^h = 0.23544 \text{ m}^3/\text{s}$. Usvojena cev prečnika $D = 600 \text{ mm}$ je dužine $L = 450.00 \text{ m}$. Za navedene parametre linijski gubitak u cevi za pad od $J = 3\text{‰}$ iznosi:

$$\Delta h_L = L \cdot i = 450 \cdot 0.003 = 1.35 \text{ m}$$

Slika 53 - Detalj - cevovod od lagune do recipijenta



Kota dna cevi na izlivu je 0.00 mm, kota dna na ulazu u cevovod 1.35 mm, a linijski gubitak na potezu na potezu zbog pada ($i = 3\text{‰}$) $\Delta h_L = 1.35 \text{ m}$.

Maksimalna propusna moć cevovoda, dijametra $\varnothing 600 \text{ mm}$, pada $i = 3.0 \text{‰}$, apsolutne hrapavosti $K_b = 1.5 \text{ mm}$ iznosi $Q_{pp} = 335 \text{ l/s}$, brzine proticaja $v_{pp} = 1.19 \text{ m/s}$.

Za $Q_{max}^h = 235.44 \text{ l/s}$ stepen punjenja cevi je:

$$\frac{Q_{max}^h}{Q_{pp}} = \frac{235.44}{335} = 0.7$$

Maksimalna ispunjenost cevi može biti 70%.

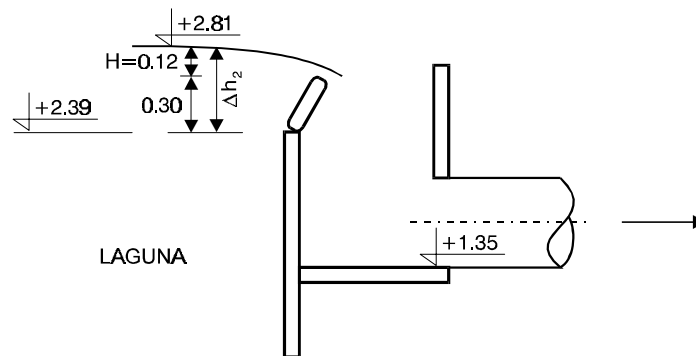
5.3.2.2. Proračun visine preliivanja na laguni (retenzija)

Ukupna količina otpadne vode koja će doticati u lagunu je $Q_{\max}^h = 0.23544 \text{ m}^3/\text{s}$. Usvaja se dužina podesivog preliiva od $b = 3.00 \text{ m}$, sa visinom preliiva $\Delta h_p = 0.3 \text{ m}$.

Za koeficijent proticaja $\mu = 0.64$, potrebna visina preliivanja iz lagune iznosi:

$$H(\text{m}) = \left(\frac{Q_{\max}^h}{\frac{2}{3} \cdot \mu \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{2/3} = \left(\frac{0.23544}{\frac{2}{3} \cdot 0.64 \cdot 3.00 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81}} \right)^{2/3} = 0.12$$

Slika 54 - Detalj preliiva na laguni



Potrebna visina preliiva iznosi $H = 0.12 \text{ m}$, pa ukupni gubitak na laguni iznosi:

$$\Delta h_2 = \Delta h_p + H = 0.3 + 0.12 = 0.42 \text{ m}$$

$$\nabla L = \nabla R + \Delta h + 1.04 + \Delta h_2 = \nabla R + 1.35 + 1.04 + 0.42 = \nabla R + 2.81 \text{ m}$$

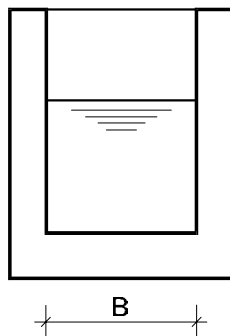
$$\nabla R = 0.00 \text{ m} - \text{relativna kota nivoa za velike vode u reci}$$

5.3.2.3. Proračun kanala od tercijarnog prečišćavanja do lagune

Maksimalno očekivana količina vode u kanalu je $Q_{\max}^h = 0.23544 \text{ m}^3/\text{s}$.

Usvojen je kanal širine $B = 600 \text{ mm}$ i dužine $L = 15.00 \text{ m}$. Za navedene parametre i linijski pad kanala od $i = 1\text{‰}$, normalna dubina kanala - h_0 se proračunava iz izraza za maksimalni protok kanalom.

Slika 55 - Presek kanala



$$Q_{\max}^h = \frac{1}{n} \cdot i^{1/2} \cdot \frac{[B \cdot h_0]^{5/3}}{[B + 2 \cdot h_0]^{2/3}}$$

Vrednost koeficijenta hrapavosti kanala, za kanal od betona, usvaja se iz tablica. Za proračun smo usvojili uglačani beton ($n = 0.011$), pa je vrednost iz izraza:

$$\frac{1}{n} (\text{m}^{1/3} / \text{s}) = 90$$

Zamenom vrednosti u gornjoj relaciji se dobija da je normalna dubina kanala: $h_0 = 0.433 \text{ m}$

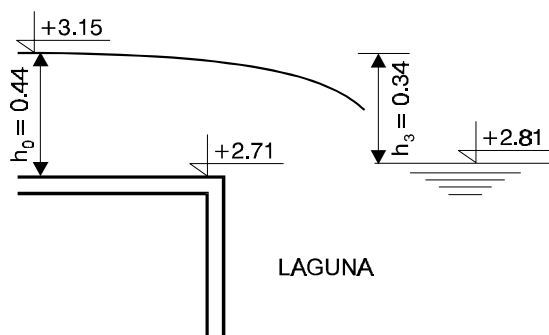
Usvaja se, za maksimalni protok Q_{\max}^h , normalna dubina kanala od $h_0 = 0.44\text{m}$.
Brzina proticaja kroz kanal, za usvojene parametre, iznosi $v = 0.90\text{ m/s}$.

Linijski gubitak u kanalu iznosi:

$$\Delta h_L = i \cdot L = 0.001 \cdot 15\text{ m} = 0.015\text{ m} \quad 0.02\text{ m}$$

Razlika nivoa u kanalu i u laguni (retenziji) iznosi $\Delta h_3 \approx 0.34\text{ m}$.

Slika 56 - Detalj - uliv kanala u lagunu



5.3.2.4. Tercijarno prečišćavanje

– Proračun visine prelivanja na podesivom prelivu

Ukupna količina otpadne vode koja će doticati u lagunu je $Q_{\max}^h = 0.23544\text{ m}^3/\text{s}$. Usvaja se dužina podesivog preлива od $b = 2.00\text{ m}$, sa visinom preлива $\Delta h_p = 0.3\text{ m}$.

Za koeficijent proticaja $\mu = 0.64$, potrebna visina prelivanja iz lagune iznosi:

$$H(\text{m}) = \left(\frac{Q_{\max}^h}{\frac{2}{3} \cdot \mu \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{2/3} = \left(\frac{0.23544}{\frac{2}{3} \cdot 0.64 \cdot 2 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81}} \right)^{2/3} = 0.16$$

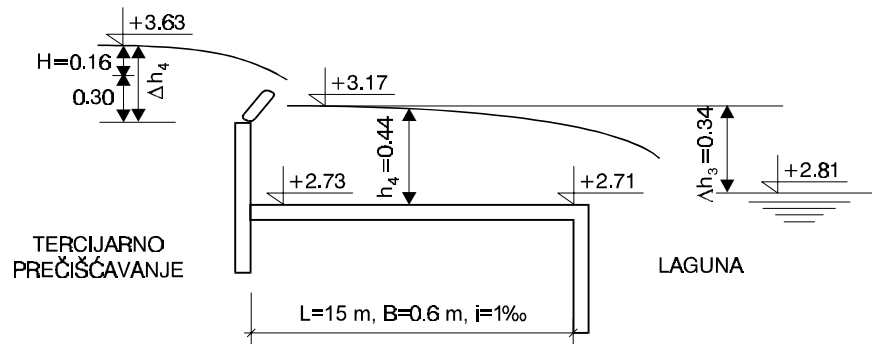
Potrebna visina preлива iznosi $H = 0.16\text{ m}$, pa ukupni gubitak na tercijalnom prečišćavanju iznosi:

$$\Delta h_4 = \Delta h_p + H = 0.3 + 0.16 = 0.46\text{ m}$$

Kota nivoa tercijalnog prečišćavanja iznosi:

$$\begin{aligned} \nabla\text{TP} &= \nabla\text{L} + \Delta h_3 + \Delta h_L + \Delta h_4 = \nabla\text{L} + 0.34 + 0.02 + 0.46 = \nabla\text{L} + 0.82\text{ m} \\ \nabla\text{TP} &= \nabla\text{R} + 3.63\text{ m} \end{aligned}$$

Slika 57 - Detalj - kanal sa prelivom od tercijarnog prečišćavanja do lagune



- Proračun cevovoda od sabirnog šahta do tercijarnog prečišćavanja

Ovim cevovodom će se transportovati količina od $Q_{\max}^h = 0.23544 \text{ m}^3/\text{s}$. Na cevovodu se nalazi i elektromagnetni merač protoka. Cevovod je potopljen pa će tečenje biti pod pritiskom.

Usvojena je čelična kanalizaciona cev $\varnothing 600 \text{ mm}$.

Maksimalno očekivana količina vode u cevovodu je $Q_{\max}^h = 0.23544 \text{ m}^3/\text{s}$. Usvojena cev prečnika $D = 600 \text{ mm}$ je dužine $L = 40.00 \text{ m}$. Za navedene parametre linijski gubitak u cevi za pad od $J = 3\text{‰}$ iznosi:

$$\Delta h_L = L \cdot i = 40 \cdot 0.003 = 0.12 \text{ m}$$

Za $Q_{\max}^h = 235.44 \text{ l/s}$, kao i za cev prečnika $D = 600 \text{ mm}$, brzina proticaja iznosi $v = 0.83 \text{ m/s}$. Za kinematski koeficijent viskoznosti $\nu = 1.236 \cdot 10^{-6}$, Rejnoldsov kriterijum proticaja u cevi iznosi:

$$\text{Re} = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{0.83 \cdot 0.6}{1.236 \cdot 10^{-6}} = 4.03 \cdot 10^5$$

Relativna hrapavost je odnos veličina prečnika cevovoda i koeficijenta hrapavosti. Za koeficijent hrapavosti $K = 0.4 \text{ mm}$, relativna hrapavost iznosi:

$$\frac{D}{K} = \frac{600}{0.4} = 1500$$

Sa slike 58, za navedene vrednosti Re i relativne hrapavosti D/K , grafički se dobija da je koeficijent linijskog otpora, $\lambda = 0.021$.

Ukupan hidraulički gubitak od sabirnog šahta do tercijalnog prečišćavanja se izračunava iz relacije:

$$\Delta h_s = \left(\xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \lambda \cdot \frac{L}{D} \right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

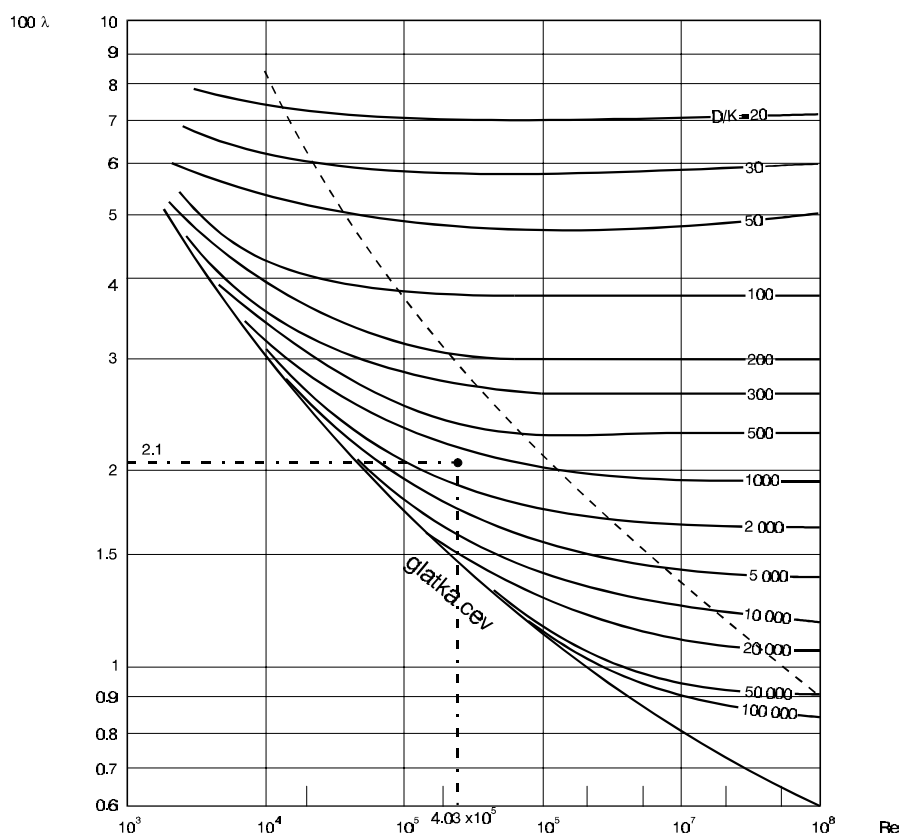
$\xi_1 = 0.5$ - koeficijent lokalnog gubitka na ulazu

$\xi_2 = 1.0$ - koeficijent lokalnog gubitka na izlazu

$\xi_3 = 0.66$ - koeficijent lokalnog gubitka na kolenu 90° .

$$\Delta h_s (\text{m}) = \left(0.5 + 1.0 + 0.66 + 0.021 \cdot \frac{40.00}{0.60} \right) \cdot \frac{0.83^2}{2 \cdot 9.81} = 0.125$$

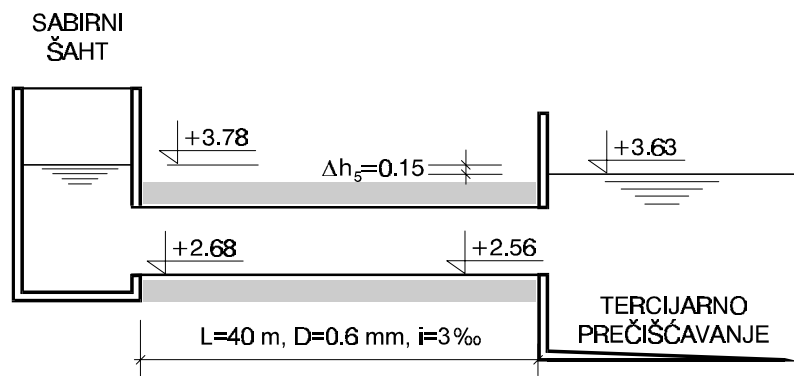
Slika 58 - Grafički prikaz Kolbrukove formule



Usvaja se ukupan hidraulički gubitak od sabirnog šahta do tercijalnog prečišćavanja u visini od $\Delta h_5 = 0.15\text{ m}$.

Kota dna cevi na izlivu je 2.56 mm, kota dna na ulazu u cevovod 2.68 mm, linijski gubitak na potezu zbog pada ($i = 3\text{‰}$) iznosi $\Delta h_L = 0.12\text{ m}$.

Slika 59 - Cevovod od sabirnog šahta do tercijarnog prečišćavanja

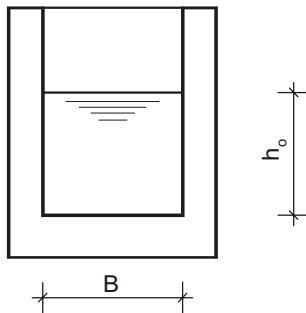


5.3.2.5. Proračun otvorenog kanala od naknadnog taložnika do sabirnog šahta

Maksimalno očekivana količina vode u kanalu je polovina početnog maksimalnog proticaja $Q_{\max}^* = 0.118 \text{ m}^3/\text{s}$.

Usvojen je kanal širine $B = 400 \text{ mm}$ i dužine $L = 15.00 \text{ m}$. Za navedene parametre i linijski pad kanala od $i = 2\text{‰}$, normalna dubina kanala - h_0 se proračunava iz izraza za maksimalni protok kanalom.

Slika 60 - Presek kanala



$$Q_{\max}^* = \frac{1}{n} \cdot i^{1/2} \cdot \frac{[B \cdot h_0]^{5/3}}{[B + 2 \cdot h_0]^{2/3}}$$

Vrednost koeficijenta hrapavosti kanala, za kanal od betona, usvaja se iz tablica. Za proračun smo usvojili uglačani beton ($n = 0.011$), pa je vrednost iz izraza:

$$\frac{1}{n} (\text{m}^{1/3} / \text{s}) = 90$$

Zamenom vrednosti u gornjoj relaciji se dobija da je normalna dubina kanala:

$$h_0 = 0.30 \text{ m}$$

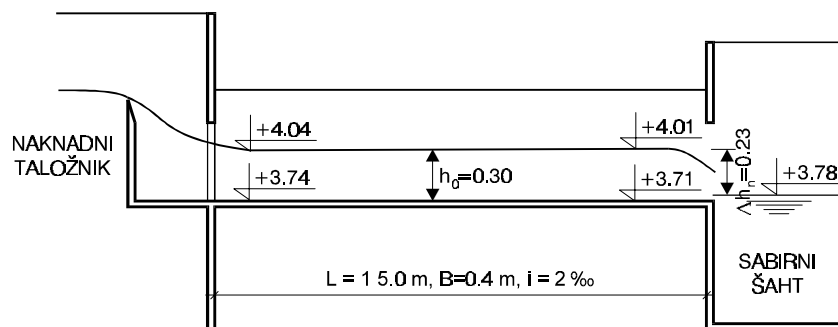
Usvaja se, za maksimalni protok Q_{\max}^* , normalna dubina kanala od $h_0 = 0.3 \text{ m}$.

Brzina proticaja kroz kanal, za usvojene parametre, iznosi $v = 0.98 \text{ m/s}$.

Linijski gubitak u kanalu iznosi:

$$\Delta h_L = i \cdot L = 0.002 \cdot 15 \text{ m} = 0.03 \text{ m}$$

Slika 61 - Kanal od naknadnog taložnika do sabirnog šahta



Kota nivoa sabirnog šahta iznosi:

$$\nabla \text{SŠ} = \nabla \text{TP} + \Delta h_s = \nabla \text{TP} + 0.15 \text{ m}$$

$$\nabla \text{SŠ} = \nabla \text{R} + 3.78 \text{ m}$$

5.3.2.6. Naknadni taložnik

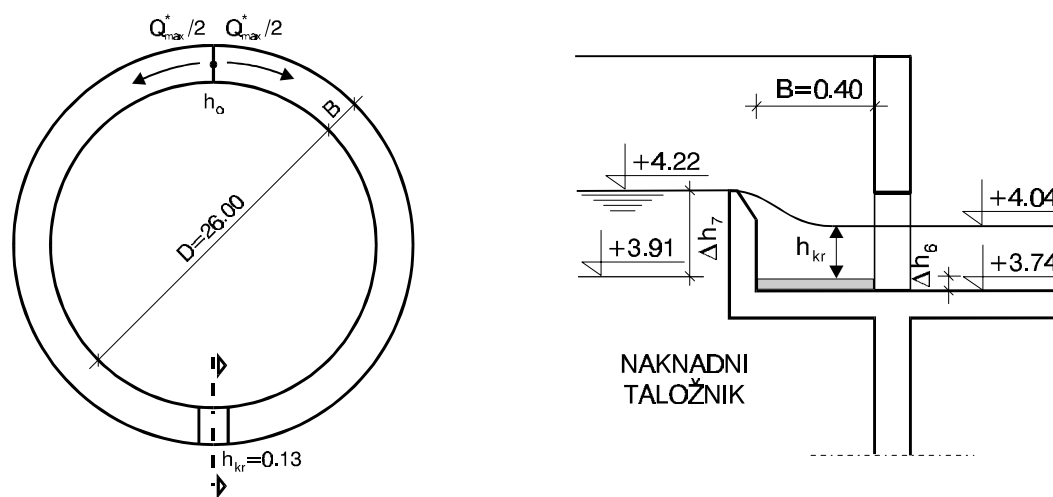
– Proračun obodnog kanala

Maksimalno očekivana količina vode u kanalu je polovina početnog maksimalnog proticaja $Q_{\max}^* = 0.118 \text{ m}^3/\text{s}$.

Protok kroz obodni kanal se ostvaruje na dve strane, pa je merodavan proticaj kroz obodni kanal, potreban za određivanje normalne dubine kanala:

$$Q_{\text{mer}} (\text{m}^3 / \text{s}) = \frac{Q_{\max}^*}{2} = \frac{0.118}{2} = 0.059$$

Slika 62 - Obodni kanal naknadnog taložnika - preseci



Usvojen je kanal širine $B = 400 \text{ mm}$. Za navedene parametre i linijski pad kanala od $i = 1\text{‰}$, normalna dubina kanala - h_0 se proračunava iz izraza za maksimalni protok kanalom.

$$Q_{\text{mer}} = \frac{1}{n} \cdot i^{1/2} \cdot \frac{[B \cdot h_0]^{5/3}}{[B + 2 \cdot h_0]^{2/3}}$$

Vrednost koeficijenta hrapavosti kanala, za kanal od betona, usvaja se iz tablica. Za proračun smo usvojili uglacani beton ($n = 0.011$), pa je vrednost iz izraza $\frac{1}{n} (\text{m}^{1/3}/\text{s}) = 90$.

Zamenom vrednosti u gornjoj relaciji se dobija da je normalna dubina kanala:

$$h_0 = 0.23 \text{ m}$$

Usvaja se, za merodavan protok Q_{mer} , normalna dubina kanala od $h_0 = 0.23 \text{ m}$.

Na izlazu iz kanala u sabirni kanal se podiže nivo preko praga, sa usvojenom visinom praga od $\Delta h_6 = 0.17 \text{ m}$.

Kritična dubina se izračunava iz izraza:

$$h_{kr}(\text{m}) = \sqrt[3]{\frac{Q_{\max}^*{}^2}{g \cdot B^2}} = \sqrt[3]{\frac{0.059^2}{9.81 \cdot 0.4^2}} = 0.13$$

Kota nivoa u kanalu na ulazu u sabirni kanal je:

$$h_{iz}(\text{m}) = h_{kr} + \Delta h_6 = 0.13 + 0.17 = 0.30 \text{ m}$$

Sada visina između nivoa u naknadnom taložniku i gornje ivice praga iznosi:

$$\Delta h_7 = 0.31 \text{ m}$$

Dužina obodnog kanala iznosi:

$$L(\text{m}) = D \cdot \pi = 26 \cdot \pi = 81.68$$

Maksimalno opterećenje prelivnice po celom obodu iznosi:

$$\frac{Q_{\max}^*}{L} (\text{m}^2 / \text{s}) = \frac{0.118}{81.68} = 0.0014$$

Kota nivoa naknadnog taložnika iznosi:

$$\begin{aligned} \nabla \text{--- NT} &= \nabla \text{--- SŠ} + \Delta h_n + \Delta h_6 + \Delta h_7 + \Delta h_L - h_0 = \nabla \text{--- SŠ} + 0.23 + 0.17 + 0.31 + 0.03 - 0.3 = \\ &= \nabla \text{--- SŠ} + 0.44 \text{ m} \\ \nabla \text{--- SŠ} &= \nabla \text{--- R} + 4.22 \text{ m} \end{aligned}$$

– Proračun Štengelovih ulaznih elemenata na centralnom cilindru

Maksimalno očekivana količina vode u centralnom cilindru naknadnog taložnika je polovina početnog maksimalnog proticaja $Q_{\max}^* = 0.118 \text{ m}^3/\text{s}$.

Dozvoljena brzina isticanja kroz Štengelov ulazni element je $V_{\text{doz}} = 0.80 \text{ m/s}$, pa je potrebna površina poprečnih preseka ulaznih elemenata (ukupna površina):

$$P_{\Sigma} (\text{m}^2) = \frac{Q_{\max}^*}{V_{\text{doz}}} = \frac{0.118}{0.80} = 0.148$$

Usvajimo li da je prečnik jednog ulaznog elementa $\varnothing 200 \text{ mm}$ sa površinom poprečnog preseka $P_1 = 0.031 \text{ m}^2$ izračunaćemo broj elemenata:

$$n = \frac{P_{\Sigma}}{P_1} = \frac{0.148}{0.031} = 5 \text{ komada}$$

Na centralnom cilindru treba ugraditi 5 Štengelovih ulaznih elemenata prečnika:

$$D = 200 \text{ mm.}$$

– **Proračun sifonskog cevovoda od bioaeracionog bazena do centralnog cilindra naknadnog taložnika**

Maksimalno očekivana količina vode u sifonskom cevovodu od bioaeracionog bazena do centralnog cilindra naknadnog taložnika je polovina početnog maksimalnog proticaja $Q_{\max}^* = 0.118 \text{ m}^3/\text{s}$.

Usvaja se sifonski cevovod prečnika $D=400\text{mm}$ i dužine $L=25.00\text{m}$. Za navedene vrednosti brzina proticaja iznosi $v=0.94 \text{ m/s}$.

Gubitak pritiska u sifonskom vodu se izračunava iz izraza:

$$\Delta h_8 = \left(\xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \lambda \cdot \frac{L}{D} \right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$\xi_1 = 0.5$ - koeficijent lokalnog gubitka na ulazu

$\xi_2 = 0.66$ - koeficijent lokalnog gubitka na kolenu 90°

$\xi_3 = 1.0$ - koeficijent lokalnog gubitka na izlazu

$K = 0.60 \text{ mm}$ - koeficijent hrapavosti

Relativna hrapavost je odnos veličina prečnika cevovoda i koeficijenta hrapavosti. Za koeficijent hrapavosti $K=0.60 \text{ mm}$, relativna hrapavost iznosi:

$$\frac{D}{K} = \frac{400}{0.60} = 667$$

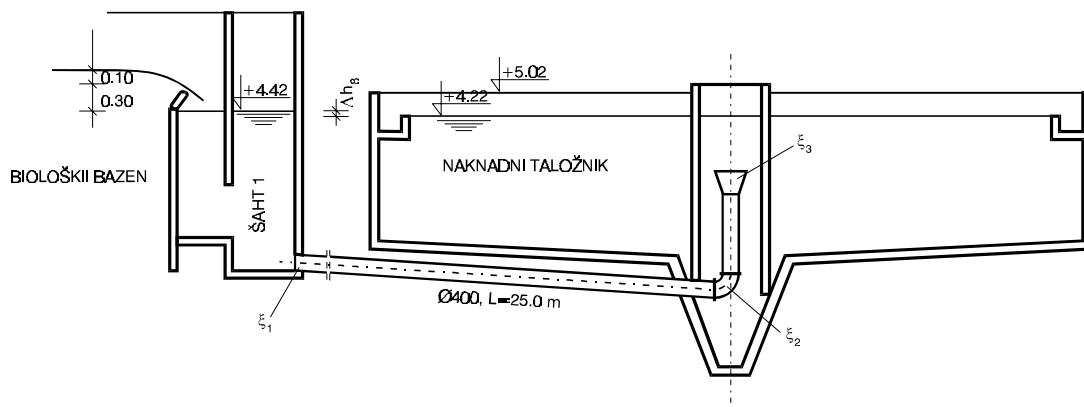
$$\text{Re} = \frac{0.400 \cdot 0.94}{1.236 \cdot 10^{-6}} = 3.04 \cdot 10^5$$

$\lambda = 0.023$ - koeficijent linijskog otpora (videti sliku 58)

$$\Delta h_8 (\text{m}) = \left(0.50 + 0.66 + 1.00 + 0.023 \cdot \frac{25.00}{0.40} \right) \cdot \frac{0.94^2}{2 \cdot 9.81} = 0.16$$

Usvaja se vrednost gubitka pritiska u sifonskom vodu od $\Delta h_8 = 0.20\text{m}$.

Slika 63 - Sifonski cevovod od biološkog bazena do naknadnog taložnika



5.3.2.7. Biološki bazen

Maksimalno očekivana količina vode na ulazu u svaki biološki bazen je polovina početnog maksimalnog proticaja $Q_{\max}^* = 0.118 \text{ m}^3/\text{s}$.

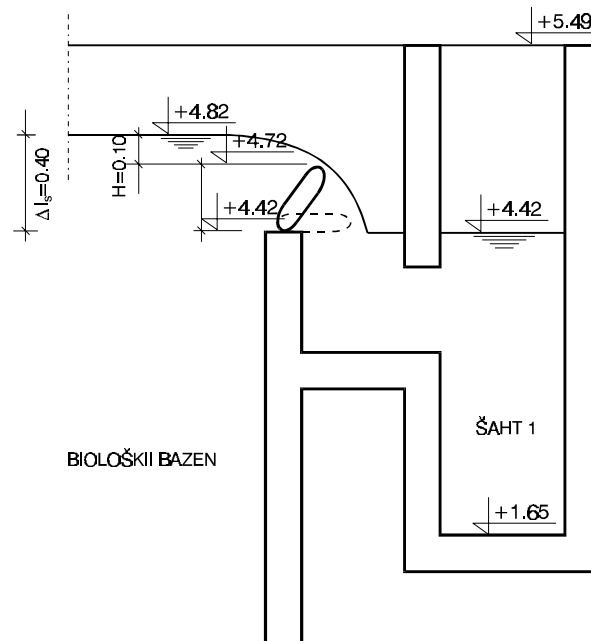
– Proračun visine prelivanja na podesivom prelivu

Ukupna količina otpadne vode koja će doticati u biološkom bazenu je $Q_{\max}^* = 0.118 \text{ m}^3/\text{sec}$. Usvaja se dužina podesivog preliava od $b = 2.00 \text{ m}$.

Za koeficijent proticaja $\mu = 0.64$, potrebna visina prelivanja iz biološkog bazena iznosi:

$$H(\text{m}) = \left(\frac{Q_{\max}^*}{\frac{2}{3} \cdot \mu \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{2/3} = \left(\frac{0.118}{\frac{2}{3} \cdot 0.64 \cdot 2 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81}} \right)^{2/3} = 0.10$$

Slika 64 - Detalj - podesiv preliv na izlazu iz biološkog bazena



Potrebna visina preliava iznosi $H = 0.10 \text{ m}$, pa ukupni gubitak na biološkom bazenu, od biološkog bazena do šahta 1 iznosi:

$$\Delta h_o = \Delta h_p + H = 0.3 + 0.10 = 0.40 \text{ m}$$

Kota maksimalnog nivoa vode u bioaeracionom bazenu iznosi:

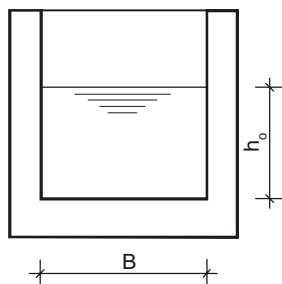
$$\begin{aligned} \nabla \text{BB} &= \nabla \text{NT} + \Delta h_s + \Delta h_o = \nabla \text{NT} + 0.2 + 0.40 = \nabla \text{NT} + 0.6 \text{ m} \\ \nabla \text{BB} &= \nabla \text{R} + 4.82 \text{ m} \end{aligned}$$

– Proračun kanala od primarnog taložnika do biološkog bazena

Maksimalno očekivana količina vode u kanalu je $Q_{\max}^* = 0.118 \text{ m}^3/\text{s}$.

Usvojen je kanal širine $B = 400 \text{ mm}$ i dužine $L = 10.00 \text{ m}$. Za navedene parametre linijski pad kanala od $i = 2\text{‰}$, normalna dubina kanala - h_0 se proračunava iz izraza za maksimalni protok kanalom.

Slika 65 - Poprečni presek



$$Q_{\max}^* = \frac{1}{n} \cdot i^{1/2} \cdot \frac{[B \cdot h_0]^{5/3}}{[B + 2 \cdot h_0]^{2/3}}$$

Vrednost koeficijenta hrapavosti kanala, za kanal od betona, usvaja se iz tablica. Za proračun smo usvojili ugačani beton ($n = 0.011$), pa je vrednost iz izraza $\frac{1}{n} (\text{m}^{1/3}/\text{s}) = 90$.

Zamenom vrednosti u gornjoj relaciji se dobija da je normalna dubina kanala: $h_0 = 0.30 \text{ m}$

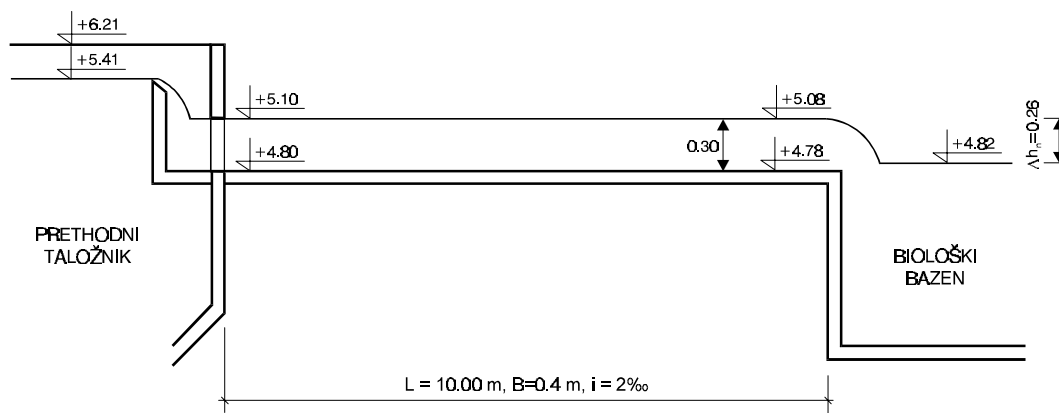
Brzina proticaja kroz kanal, za usvojene parametre, iznosi:

$$v = 0.98 \text{ m/s}$$

Linijski gubitak u kanalu iznosi:

$$\Delta h_L = i \cdot L = 0.002 \cdot 10 \text{ m} = 0.02 \text{ m}$$

Slika 66 - Kanal od primarnog taložnika do biološkog bazena



– Prethodni taložnik

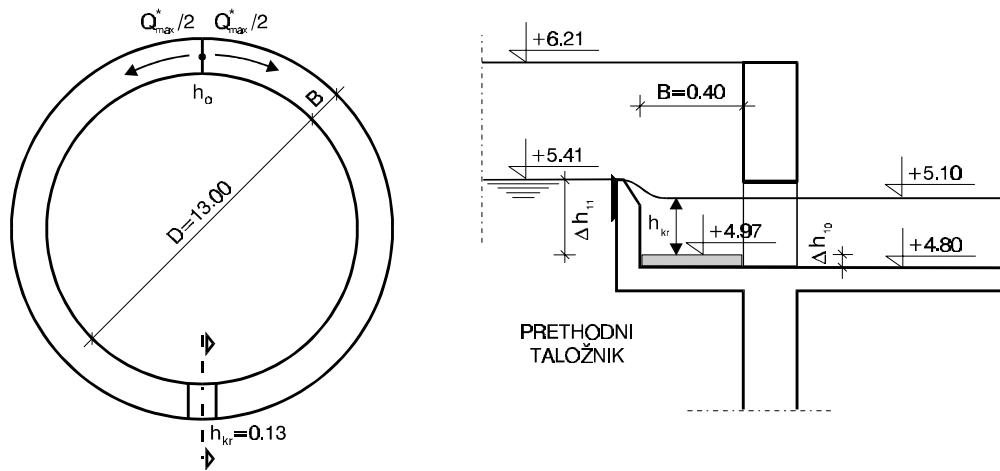
Proračun obodnog kanala

Maksimalno očekivana količina vode u kanalu je polovina početnog maksimalnog proticaja $Q_{\max}^* = 0.118 \text{ m}^3/\text{s}$.

Protok kroz obodni kanal se ostvaruje na dve strane, pa je merodavan proticaj kroz obodni kanal, potreban za određivanje normalne dubine kanala:

$$Q_{\text{mer}} (\text{m}^3 / \text{s}) = \frac{Q_{\max}^*}{2} = \frac{0.118}{2} = 0.059$$

Slika 67 - Obodni kanal naknadnog taložnika - presezi



Usvojen je kanal širine $B = 400$ mm. Za navedene parametre i linijski pad kanala od $i = 1\text{‰}$, normalna dubina kanala - h_0 se proračunava iz izraza za maksimalni protok kanalom.

$$Q_{\text{mer}} = \frac{1}{n} \cdot i^{1/2} \cdot \frac{[B \cdot h_0]^{5/3}}{[B + 2 \cdot h_0]^{2/3}}$$

Vrednost koeficijenta hrapavosti kanala, za kanal u betonu, usvaja se iz tablica. Za proračun smo usvojili ugačani beton ($n = 0.011$), pa je vrednost iz izraza $\frac{1}{n} \text{ (m}^{1/3}/\text{s)} = 90$.

Zamenom vrednosti u gornjoj relaciji se dobija da je normalna dubina kanala:

$$h_0 = 0.23 \text{ m}$$

Usvaja se, za merodavan protok Q_{mer} , normalna dubina kanala od $h_0 = 0.23$ m.

Na izlazu iz kanala u kanal koji povezuje primarni taložnik i biološki bazen se podiže nivo preko praga, sa usvojenom visinom praga od $\Delta h_{10} = 0.17$ m.

Kritična dubina se izračunava iz izraza:

$$h_{\text{kr}} \text{ (m)} = \sqrt[3]{\frac{Q_{\text{max}}^2}{g \cdot B^2}} = \sqrt[3]{\frac{0.059^2}{9.81 \cdot 0.4^2}} = 0.13$$

Kota nivoa u kanalu na ulazu u kanal između primarnog taložnika i biološkog bazena je:

$$h_{\text{iz}} \text{ (m)} = h_{\text{kr}} + \Delta h_{10} = 0.13 + 0.17 = 0.30$$

Sada visina između nivoa u primarnom taložniku i gornje ivice praga iznosi:

$$\Delta h_{11} = 0.44 \text{ m}$$

Dužina obodnog kanala iznosi:

$$L(m) = D \cdot \pi = 13 \cdot \pi = 40.84$$

Maksimalno opterećenje prelivnice po celom obodu iznosi:

$$\frac{Q_{\max}^*}{L} (m^2 / s) = \frac{0.118}{40.84} = 0.0029$$

Kota nivoa prethodnog taložnika iznosi:

$$\begin{aligned} \nabla PT &= \nabla BB + \Delta h_n + \Delta h_L - h_0 + \Delta h_{10} + \Delta h_{11} = \nabla BB + 0.26 + 0.02 - 0.3 + 0.17 + 0.44 = \\ &= \nabla BB + 0.59 \text{ m} \\ \nabla PT &= \nabla R + 5.41 \text{ m} \end{aligned}$$

Proračun Štengelovih ulaznih elemenata na centralnom cilindru

Maksimalno očekivana količina vode u centralnom cilindru primarnog taložnika je polovina početnog maksimalnog proticaja $Q_{\max}^* = 0.118 \text{ m}^3/\text{s}$.

Dozvoljena brzina isticanja kroz Štengelov ulazni element je $V_{\text{doz}} = 0.80 \text{ m/s}$, pa je potrebna površina poprečnih preseka ulaznih elemenata (ukupna površina):

$$P_{\Sigma} (m^2) = \frac{Q_{\max}^*}{V_{\text{doz}}} = \frac{0.118}{0.80} = 0.148$$

Usvajimo li da je prečnik jednog ulaznog elementa $\varnothing 200 \text{ mm}$ sa površinom poprečnog preseka $P_1 = 0.031 \text{ m}^2$ izračunaćemo broj elemenata:

$$n = \frac{P_{\Sigma}}{P_1} = \frac{0.148}{0.031} = 5 \text{ komada}$$

Na centralnom cilindru treba ugraditi 5 Štengelovih ulaznih elemenata prečnika $D = 200 \text{ mm}$.

Proračun sifonskog cevovoda od raspodelne građevine RG1 do centralnog cilindra primarnog taložnika

Maksimalno očekivana količina vode u sifonskom cevovodu od raspodelne građevine RG1 do centralnog cilindra primarnog taložnika je polovina početnog maksimalnog proticaja $Q_{\max}^* = 0.118 \text{ m}^3/\text{s}$.

Usvaja se sifonski cevovod prečnika $D = 400 \text{ mm}$ i dužine $L = 13.00 \text{ mm}$. Za navedene vrednosti brzina proticaja iznosi $v = 0.94 \text{ m/s}$.

Gubitak pritiska u sifonskom vodu se izračunava iz izraza:

$$\Delta h_s = \left(\xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \lambda \cdot \frac{L}{D} \right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$\xi_1 = 0.5$ - koeficijent lokalnog gubitka na ulazu

$\xi_2 = 0.66$ - koeficijent lokalnog gubitka na kolenu 90°

$\xi_3 = 1.0$ - koeficijent lokalnog gubitka na izlazu

$K = 0.60 \text{ mm}$ - koeficijent hrapavosti

Relativna hrapavost je odnos veličina prečnika cevovoda i koeficijenta hrapavosti. Za koeficijent hrapavosti $K=0.60$ mm, relativna hrapavost iznosi:

$$\frac{D}{K} = \frac{400}{0.60} = 667$$

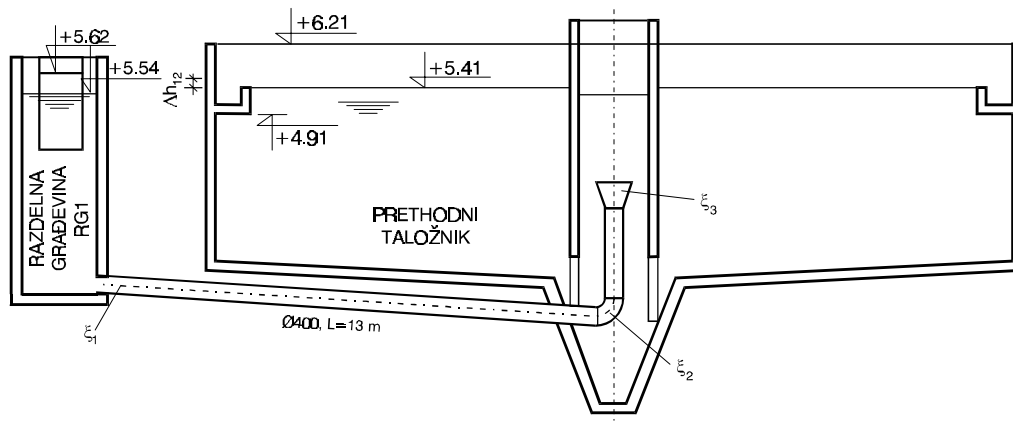
$$Re = \frac{0.400 \cdot 0.94}{1.236 \cdot 10^{-6}} = 3.04 \cdot 10^5$$

$\lambda = 0.023$ - koeficijent linijskog otpora (videti dijagram na slici 58)

$$\Delta h_{12} \text{ (m)} = \left(0.50 + 0.66 + 1.00 + 0.023 \cdot \frac{13.00}{0.40} \right) \cdot \frac{0.94^2}{2 \cdot 9.81} = 0.13$$

Usvaja se vrednost gubitka pritiska u sifonskom vodu od $\Delta h_{12} = 0.13$ m.

Slika 68 - Sifonski cevovod za primarni taložnik



Kota maksimalnog nivoa vode u bioaeracionom bazenu iznosi:

$$\begin{aligned} \nabla RG &= \nabla PT + \Delta h_{12} = \nabla PT + 0.13 \text{ m} \\ \nabla RG &= \nabla R + 5.54 \text{ m} \end{aligned}$$

– Proračun kanala od merača protoka do raspodelne građevine RG 1

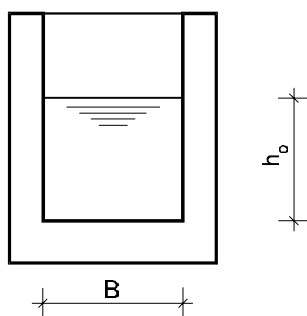
Maksimalno očekivana količina vode u kanalu je $Q_{\max}^h = 0.23544 \text{ m}^3/\text{s}$.

Usvojen je kanal širine $B = 600$ mm i dužine $L = 10.00$ m. Za navedene parametre i linijski pad kanala od $i = 1\text{‰}$, normalna dubina kanala - h_0 se proračunava iz izraza za maksimalni protok kanalom.

$$Q_{\max}^h = \frac{1}{n} \cdot i^{1/2} \cdot \frac{[B \cdot h_0]^{5/3}}{[B + 2 \cdot h_0]^{2/3}}$$

Vrednost koeficijenta hrapavosti kanala, za kanal od betona, usvaja se iz tablica. Za proračun smo usvojili ugačani beton ($n = 0.011$), pa je vrednost iz izraza $\frac{1}{n} (\text{m}^{1/3}/\text{s}) = 90$.

Slika 69 - Poprečni presek



Zamenom vrednosti u gornjoj relaciji se dobija da je normalna dubina kanala: $h_0 = 0.436$ m

Usvaja se, za maksimalni protok Q_{\max}^h , normalna dubina kanala od $h_0 = 0.44$ m.

Brzina proticaja kroz kanal, za usvojene parametre, iznosi:

$$v = 0.90 \text{ m/s}$$

Linijski gubitak u kanalu iznosi:

$$\Delta h_L = i \cdot L = 0.001 \cdot 10 \text{ m} = 0.01 \text{ m}$$

Lokalni gubitak na krivini u kanalu iznosi:

$$\Delta h_{\text{lok}} \text{ (m)} = \xi \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g} = 0.50 \cdot \frac{0.9^2}{2 \cdot 9.81} = 0.02$$

Ukupan gubitak u kanalu iznosi:

$$\Delta h_{\text{uk}} = \Delta h_L + \Delta h_{\text{Lok}} = 0.01 + 0.02 = 0.03 \text{ m}$$

Dubina vode u kanalu kod RG 1 će biti:

$$H \text{ (m)} = h_0 - (\Delta h_{\text{lin}} + \Delta h_{\text{lok}}) = 0.44 - 0.03 = 0.41$$

– Proračun kanala od aerisanog peskolova do merača protoka

Maksimalno očekivana količina vode u kanalu merača protoka je $Q_{\max}^h = 0.23544 \text{ m}^3/\text{s}$.

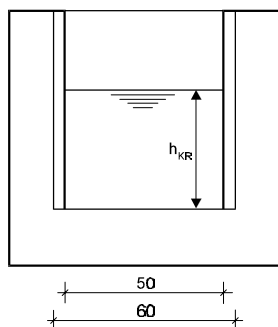
Usvojen je kanal širine $B = 600 \text{ mm}$ i dužine $L = 10.00 \text{ m}$. Za navedene parametre i linijski pad kanala od $i = 1\text{‰}$, normalna dubina kanala - h_0 se proračunava iz izraza za maksimalni protok kanalom i iznosi:

$$h_0 = 0.44 \text{ m.}$$

Gubitak visine na meraču protoka

Za određivanje kritične dubine u kanalu merača protoka koristi se Frudov broj:

Slika 70 - Poprečni presek



$$F_R = 1 = \frac{Q_{\max}^h \cdot B}{g \cdot A_{kr}^3}$$

$B = 0.5 \text{ m}$ - širina vodenog ogledala

Poprečni presek za kritičnu dubinu iznosi:

$$A_{kr} = 0.5 \cdot h_{kr}$$

$$F_R = 1 = \frac{0.23544^2 \cdot 0.50}{g \cdot (0.50 \cdot h_{kr})^3}$$

$$h_{kr} \text{ (m)} = \frac{\sqrt[3]{\frac{0.23544^2 \cdot 0.50}{g}}}{0.50} = 0.28$$

pa je $A_{kr} = 0.5 \cdot 0.28 = 0.14 \text{ m}$.

Kritična brzina proticaja iznosi:

$$v_{kr} \text{ (m / s)} = \frac{Q_{\max}^h}{A_{kr}} = \frac{0.23544}{0.14} = 1.68$$

Bernulijeva jednačina za preseke 1-1 i 2-2 iznosi:

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = h_{kr} + \frac{v_{kr}^2}{2 \cdot g} + 0.1 \cdot \frac{v_{kr}^2}{2 \cdot g}$$

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = 0.28 + 1.1 \cdot \frac{1.68^2}{2 \cdot g} = 0.44 \text{ m}$$

$$h_1 = 0.44 - \frac{v_1^2}{2 \cdot g}$$

$$h_1 \cdot b_1 \cdot v_1 = Q_{\max}^h$$

$$b_1 \text{ (m)} = 0.6$$

$$h_1 \cdot v_1 = \frac{Q_{\max}^h}{b_1} = \frac{0.23544}{0.60} = 0.39$$

$$0.44 \cdot v_1 - \frac{v_1^3}{2 \cdot g} - 0.39 = 0$$

$$v_1 = 1.00 \text{ m / s}$$

Iz prethodnih relacija se dobija da dubina kanala u preseku 1-1, h_1 iznosi:

$$h_1 = 0.39 \text{ m}$$

Bernulijeva jednačina za preseke 2-2 i S-S iznosi:

$$h_{kr} + \frac{v_{kr}^2}{2 \cdot g} = h_s + \frac{v_s^2}{2 \cdot g} + 0.15 \cdot \frac{v_s^2}{2g}$$

$$h_s + 1.15 \cdot \frac{v_s^2}{2 \cdot g} = h_{kr} + \frac{v_{kr}^2}{2 \cdot g} = 0.42 \text{ m}$$

$$h_s = 0.42 - 1.15 \cdot \frac{v_s^2}{2 \cdot g}$$

$$v_{kr} \cdot A_{kr} = b_3 \cdot h_s \cdot v_s$$

$$h_s \cdot v_s = \frac{v_{kr} \cdot A_{kr}}{b_3} = \frac{1.56 \cdot 0.50 \cdot 0.30}{0.60} = 0.39$$

$$0.42 \cdot v_s - 1.15 \cdot \frac{v_s^3}{2 \cdot g} - 0.39 = 0$$

$$v_s = 1.93 \text{ m / s}$$

Iz prethodnih relacija se dobija da dubina kanala - h_s u preseku S-S iznosi:

$$h_s = 0.20 \text{ m} \approx 0.26 \text{ m} < h_{kr} = 0.28 \text{ m}$$

Kritična dubina u preseku 3-3 iznosi:

$$h_{kr_3} = \sqrt[3]{\frac{Q_{\max}^2}{g \cdot b_3^2}} = \sqrt[3]{\frac{0.23544^2}{g \cdot 0.60^2}} = 0.25 \text{ m}$$

Konjugovana spregnuta dubina hidrauličkog skoka u preseku S-S, h_s'' iznosi:

$$h_s'' = \frac{h_s}{2} \cdot \left[\sqrt{1 + 8 \cdot \frac{Q_{\max}^2}{g \cdot b_3^2 \cdot h_s^3}} - 1 \right] = \frac{0.20}{2} \cdot \left[\sqrt{1 + 8 \cdot \frac{0.23544^2}{g \cdot 0.60^2 \cdot 0.20^3}} - 1 \right] = 0.308$$

Konjugovana spregnuta dubina mora biti veća od kritične dubine : $h_s'' > h_{kr_3}$

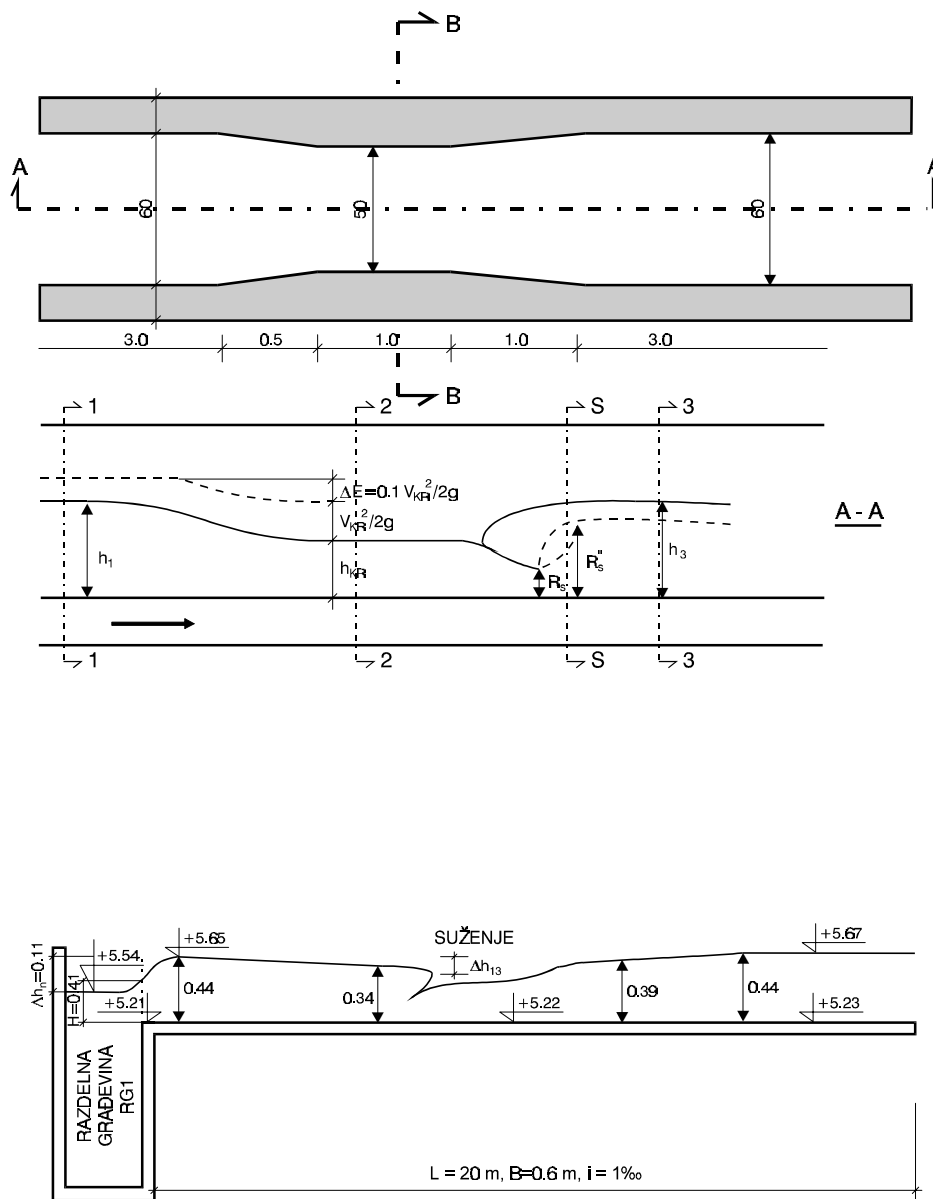
Uslov koji osigurava potopljenost hidrauličkog skoka je da dubina u preseku 3-3 iznosi:

$$h_3 \geq 1.1h_s'' = 0.339 \approx 0.34 \text{ m}$$

Razlika nivoa u presecima 1-1 i 3-3, Δh_{13} iznosi:

$$\Delta h_{13}(\text{m}) = 0.39 - 0.34 = 0.05$$

Slika 71 - Merni kanal - osnova i podužni presek



NAPOMENA: Proračun je sproveden za merni kanal kod koga se merenje protoka vrši merenjem dve dubine: h_1 i h_{kr} . U realnim uslovima merenjem ove dve dubine na mernom kanalu dobija se rezultat koji ne zavisi od toga da li je u suženju ostvarena kritična dubina h_{kr} , ili ne. Praksa je pokazala da je postizanje kritične dubine u suženju neizvesno i zavisi od mnogo faktora (način izvođenja, ekstremi protoka, ...).

Ukoliko se ipak želi ostvariti jednoznačna veza između dubine i protok, merenjem samo dubine u suženju, za primer kako se vrši dimenzionisanje, pogledati u Literaturi naznačenu publikaciju pod rednim brojem 44.

– Aerisani peskolov

Hidrauličko opterećenje peskolova zavisi od rada crpne stanice. Maksimalno hidrauličko opterećenje peskolova će biti $Q_{\max}^h = 0.23544 \text{ m}^3/\text{s}$.

Za siguran i efikasan rad peskolova usvaja se za maksimalni protok vreme zadržavanja $t = 4.25 \text{ min}$.

Usvojen je podužni peskolov tip SFbS 4 - 2.0 sledećih karakteristika:

- dužina bazena: $L_p = 15.00 \text{ m}$
- površina: $P_p = 4.00 \text{ m}^2$
- zapremina bazena: $V_p = 60.00 \text{ m}^3$

Horizontalna brzina vode (prelivna brzina) u peskolovu se dobija iz relacije:

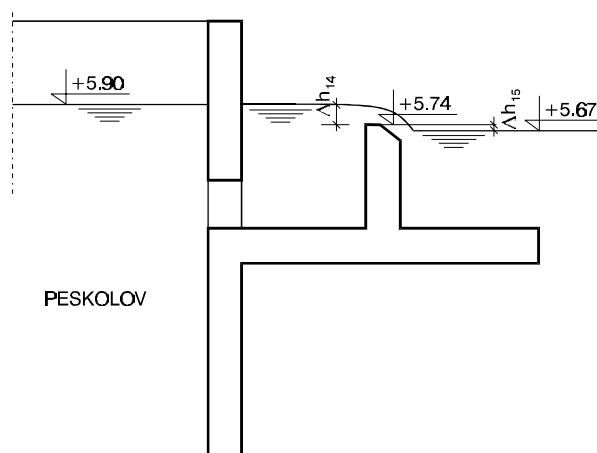
$$v(\text{m / s}) = \frac{Q_{\max}^h}{P_p} = \frac{0.23544}{4.00} = 0.059$$

Proračun visine preliivanja preko prelivne ivice

Dužina prelivne ivice peskolova iznosi $b = 2.00 \text{ m}$. Za koeficijent proticaja $\mu = 0.64$, visina preliivanja iznosi:

$$\Delta h_{14}(\text{m}) = \left(\frac{Q_{\max}^h}{\frac{2}{3} \cdot \mu \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{2/3} = \left(\frac{0.23544}{\frac{2}{3} \cdot 0.64 \cdot 2.00 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81}} \right)^{2/3} = 0.16$$

Slika 72 - Detalj prelivne ivice peskolova



Kota krune prelivne ivice iznosi $\nabla +5.74 \text{ mm}$.

Razlika kota krune prelivne ivice peskolova i nivoa vode u kanalu koji vodi ka razdelnoj građevini RG1, Δh_{15} je usvojena i iznosi:

$$\Delta h_{15}(\text{m}) = 0.07$$

Ukupan linijski gubitak na celom kanalu od razdelne građevine do peskolova iznosi:

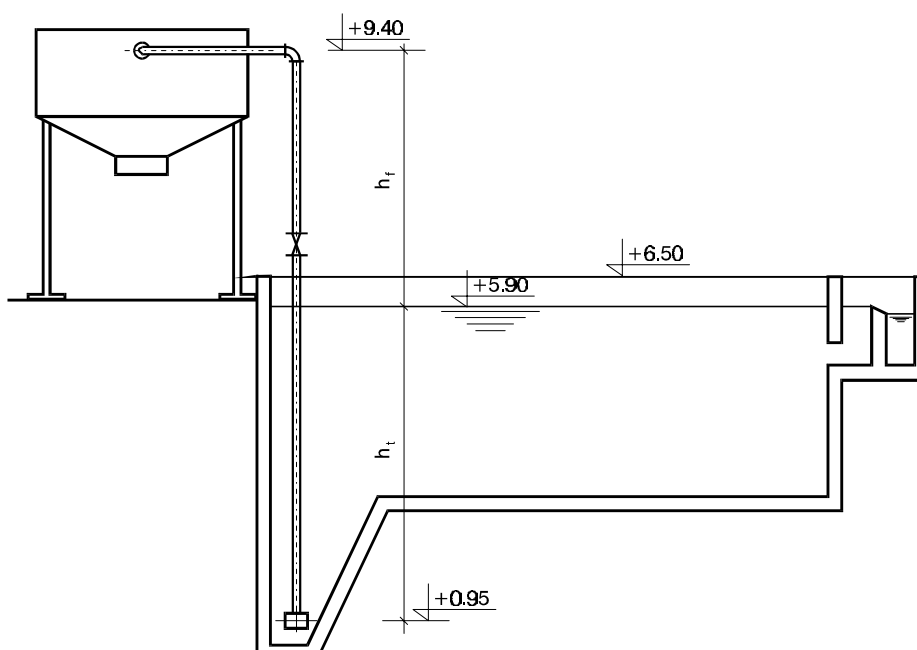
$$\Delta h_L(m) = i \cdot L = 0.001 \cdot 20 = 0.02$$

Kota nivoa u peskolovu iznosi:

$$\begin{aligned} \nabla \text{ PESK} &= \nabla \text{ RG} + \Delta h_n + \Delta h_L + \Delta h_{14} + \Delta h_{15} = \nabla \text{ RG} + 0.11 + 0.02 + 0.16 + 0.07 = \\ &= \nabla \text{ RG} + 0.36 \text{ m} \\ \nabla \text{ PESK} &= \nabla \text{ R} + 5.90 \text{ m} \end{aligned}$$

Izbor mamut pumpe za izbacivanje peska iz trihtera u silos

Slika 73 - Mamut pumpa za izbacivanje peska



Usvojena je mamut pumpa MP125. Radne karakteristike usvojene mamut pumpe su:

- dubina urona: $h_t = 4.95 \text{ m}$
- visina dizanja: $h_f = 3.50 \text{ m}$

Odnos visine dizanja prema dubini urona iznosi:

$$h_f : h_t = 3.50 : 4.95 = 0.70$$

Granice navedenog odnosa iznose između 0.2-1.2, te izabrana mamut pumpa zadovoljava ovaj kriterijum.

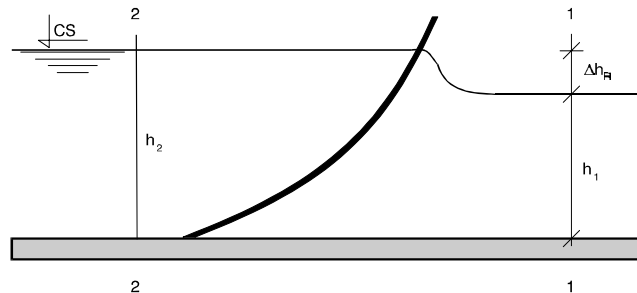
Usvojena brzina dizanja mamut pumpe od $v = 1.00 \text{ m/sec}$. Kapacitet mamut pumpe iznosi $Q_{AP} = 0.012 \text{ m}^3/\text{sec}$.

– Automatska lučna rešetka

Kota nivoa vode u kanalu iza crpne stanice je jednaka koti peskolova - ∇ -PESK, uvećanoj za hidraulički gubitak na automatskoj rešetki - $\Delta h = \Delta h_R$.

$$\nabla CS = \nabla \text{PESK} + \Delta h$$

Slika 74 - Šema automatske lučne rešetke



Bernulijeva jednačina za dva preseka, presek 1-1 i presek 2-2, glasi:

$$h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} + \Delta h$$

$$\Delta h = h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} - h_1 - \frac{v_1^2}{2 \cdot g} \quad 1.$$

Jednačina kontinuiteta za presek kroz rešetku glasi:

$$v_2 \cdot A_2 = Q_{\max}^h$$

$$v_2 \cdot h_2 \cdot n \cdot b \cdot K_R = Q_{\max}^h \quad 2.$$

n - broj otvora

b - širina otvora (razmak između šipki)

K_R - koeficijent kontrakcije

Broj otvora na rešetki zavisi od širine kanala - $B=0.60$ m, razmaka između šipki - $b=0.02$ m i debljine šipke rešetke - $\delta=0.01$ m. Za usvojene vrednosti broj šipki iznosi:

$$n = \frac{B}{\delta + b} = \frac{0.60}{0.01 + 0.02} = 20$$

Usvaja se potreban broj šipki od $n=20$.

Pri određivanju hidrauličkog gubitka na rešetki polazi se od maksimalnog proticaja kroz rešetku.

$$Q_{\max}^h = v_2 \cdot h_2 \cdot n \cdot b \cdot K_R$$

$K_R=0.82$ - koeficijent kontrakcije

$$v_2 \cdot h_2 = \frac{0.23544}{20 \cdot 0.02 \cdot 0.82} = 0.7178$$

$$v_2 \cdot h_2 = (A)$$

Jednačina za hidraulički gubitak na rešetki iznosi:

$$\Delta h = \xi_R \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \quad 3.$$

$$\xi_R = \beta \cdot (\delta / b)^{4/3} \cdot K \cdot \sin \theta$$

β - koeficijent zavistan od oblika poprečnog preseka šipke rešetke (2.42 i prav ugao)

δ - debljina šipke

b - razmak između šipki

K - koeficijent začepljenja rešetke ($K=3$)

θ - ugao nagiba rešetke prema horizontali ($60-90^\circ$)

Iz jednačina (1), (2) i (3) dobijaju se: brzina proticaja - v_2 , visina sloja - h_2 iza lučne rešetke, kao i hidraulički gubitak na lučnoj rešetki - Δh .

1) Transformisana jednačina (1)

$$\Delta h = h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} - h_1 - \frac{v_1^2}{2 \cdot g}$$

$h_1 = h_N = 0.436$ m - normalna dubina kanala

$$v_1 \text{ (m / s)} = \frac{Q_{\max}^h}{A_1} = \frac{0.23544}{0.60 \cdot 0.436} = 0.90$$

$$\Delta h = h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} - 0.436 - \frac{0.90^2}{2 \cdot g}$$

$$(B) = 0.436 + \frac{0.90^2}{2 \cdot g} = 0.4773$$

$$\Delta h = h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} - (B) \quad 1'$$

2) Transformisana jednačina (2)

$$\frac{v_2 \cdot h_2}{2} = (A)$$

3) Transformisana jednačina (3)

$$\Delta h = \xi_R \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g}$$

$$\xi_R = \beta \cdot (\delta / b)^{4/3} \cdot 3 \cdot \sin(90) = 2.42 \cdot (0.01 / 0.02)^{4/3} \cdot 3 \cdot 1 = (C) = 2.881$$

$$\Delta h = (C) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \quad 3'$$

Zamenom jednačina (3') u (1') dobijaju se relacije:

$$(C) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = h + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = h_2 - (B)$$

$$[(C) - 1] \cdot \frac{v_2^2}{2g} = h_2 - (B)$$

Zamenom vrednosti h_2 iz jednačine (2') u gornjoj relaciji dobijaju se tražene vrednosti v_2 , h_2 i Δh .

$$h_2 = \frac{(A)}{v_2}$$

$$(C_1) = (C) - 1 = 2.881 - 1 = 1.881$$

$$(C_1) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = \frac{(A)}{v_2} - (B)$$

$$(C_1) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} - \frac{(A)}{v_2} + (B) = 0$$

Zamenom poznatih vrednosti za (C_1) , (A) i (B) u navedenom izrazu dobija se:

$$v_2(\text{m/s}) = 1.19$$

Zamenom dobijene vrednosti za v_2 u jednačini (2') dobija se:

$$h_2(\text{m}) = 0.60$$

Na kraju, zamenom svih vrednosti u izrazu (1'), ili (3'), dobija se traženi hidraulički gubitak na lučnoj rešetki:

$$\Delta h(\text{m}) = 0.20$$

Kota nivoa vode u kanalu iza crpne stanice iznosi:

$$\nabla \text{CS} = \nabla \text{PESK} + \Delta h = \nabla \text{PESK} + 0.20 \text{ m}$$

$$\nabla \text{CS} = \nabla \text{R} + 6.10 \text{ m}$$

– Crpna stanica za primarno dizanje

U okviru postrojenja za prečišćavanje predviđena je crpna stanica za primarno dizanje sa instaliranim pužnim kanalizacionim pumpama.

Izbor broja crpnih agregata

Maksimalan doticaj otpadne vode, merodavan za dimenzionisanje crpne stanice, iznosi $Q_{\max}^h = 0.235 \text{ m}^3/\text{s}$.

Zbog funkcionalnijeg rada crpne stanice usvajaju se tri pužne pumpe kapaciteta od po $Q_{pp} = 120 \text{ l/s}$ (dve radne + jedna rezervna).

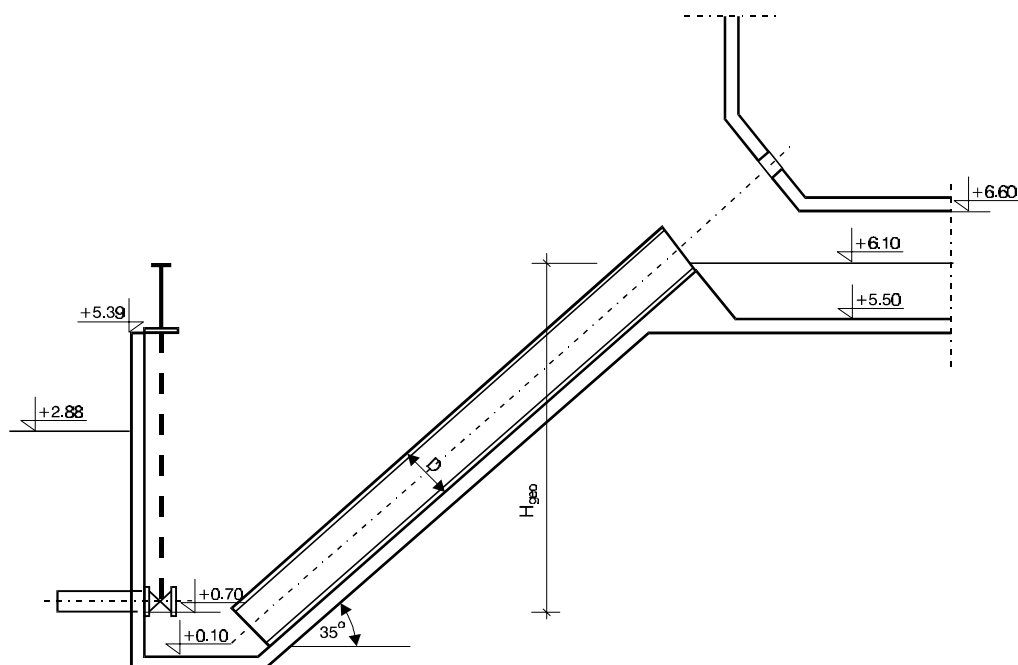
Geodetska visina dizanja

Geodetska visina dizanja H_{GEO} , se određuje kao razlika između kote na koju se podiže voda, u kanalu iza crpne stanice ($\nabla - R + 6.10 \text{ m}$) i kote radnog nivoa u bazenu crpne stanice ($\nabla - R + 0.70 \text{ m}$).

$$H_{\text{GEO}} = 6.10 - 0.70 = 5.40 \text{ m}$$

Za podizanje otpadne vode u kanal iza crpne stanice se usvajaju dve pužne pumpe kapaciteta od po $Q_p = 120 \text{ l/s}$, prečnika puža od $D = 850 \text{ mm}$, kao i visine dizanja $H_{\text{GEO}} = 6.0 \text{ m}$, koje se postavljaju pod uglom od $\alpha = 35^\circ$.

Slika 75 - Crpna stanica za primarno dizanje



Kako od transportnog kanala otpadna voda gravitaciono protiče kroz postrojenje, može se uzeti kao referentni nivo postrojenja (relativna kota $\nabla - 0.00$).

– Raspodela kota na liniji vode

Kada se za relativnu kotu ± 0.00 usvoji kota na kojoj je potrebno prepumpati vodu na ulazu u postrojenje, tada se dobija sledeća raspodela kota objekata i postrojenja:

referentna kota (kanal iza crpne stanice):	↙ CS = (+6.10)	⇒ ±0.00 m
kota peskolova:	↙ PESK = (+5.90)	⇒ -0.20 m
kota razdelne građevine RG-1:	↙ RG = (+5.54)	⇒ -0.56 m
kota primarnih taložnika:	↙ PT = (+5.41)	⇒ -0.69 m
kota bioloških bazena:	↙ BB = (+4.82)	⇒ -1.28 m
kota naknadnih taložnika:	↙ NT = (+4.22)	⇒ -1.88 m
kota tercijalnog prečišćavanja:	↙ TP = (+3.63)	⇒ -2.47 m
kota lagune:	↙ L = (+2.81)	⇒ -3.29 m
kota recipijenta:	↙ R = (±0.00)	⇒ -6.10 m

5.3.3. Hidraulički proračun po liniji mulja

Prema tehnološkoj šemi povratni aktivni mulj iznosi 100% u odnosu na otpadnu vodu, pa je količina povratnog mulja u recirkulaciji jednaka Q_{\max}^h i iznosi $Q_{RM} = 0.23544 \text{ m}^3/\text{s}$.

Takođe, prema tehnološkom proračunu usvojena je pumpa za višak mulja kapaciteta od $Q_{MP} = 0.020 \text{ m}^3/\text{s}$.

– Proračun sifonskog cevovoda za transport mulja od naknadnog taložnika do crpne stanice za recirkulaciju mulja

Maksimalno očekivana količina povratnog mulja u sifonskom cevovodu od naknadnog taložnika do crpne stanice za recirkulaciju mulja je polovina maksimalnog proticaja mulja $Q_{RM}^* = 0.118 \text{ m}^3/\text{s}$.

Usvaja se sifonski cevovod prečnika $D = 400 \text{ mm}$ i dužine $L = 22.00 \text{ mm}$. Za navedene vrednosti brzina proticaja iznosi $v = 0.94 \text{ m/s}$.

Gubitak pritiska u sifonskom vodu se izračunava iz izraza:

$$\Delta h_s = \left(\xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4 + \lambda \cdot \frac{L}{D} \right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$\xi_1 = 0.50$ - koeficijent lokalnog gubitka na ulazu

$\xi_2 = 3.00$ - koeficijent lokalnog gubitka na zatvaraču

$\xi_3 = 0.22$ - koeficijent lokalnog gubitka na krivini 60°

$\xi_4 = 0.90$ - koeficijent lokalnog gubitka na izlazu

$K = 0.50 \text{ mm}$ - koeficijent hrapavosti

Relativna hrapavost je odnos veličina prečnika cevovoda i koeficijenta hrapavosti. Za koeficijent hrapavosti $K = 0.50 \text{ mm}$, relativna hrapavost iznosi:

$$\frac{D}{K} = \frac{400}{0.50} = 800$$

$$\text{Re} = \frac{0.400 \cdot 0.94}{1.236 \cdot 10^{-6}} = 3.04 \cdot 10^5$$

$\lambda = 0.023$ - koeficijent linijskog otpora (videti dijagram na slici 58)

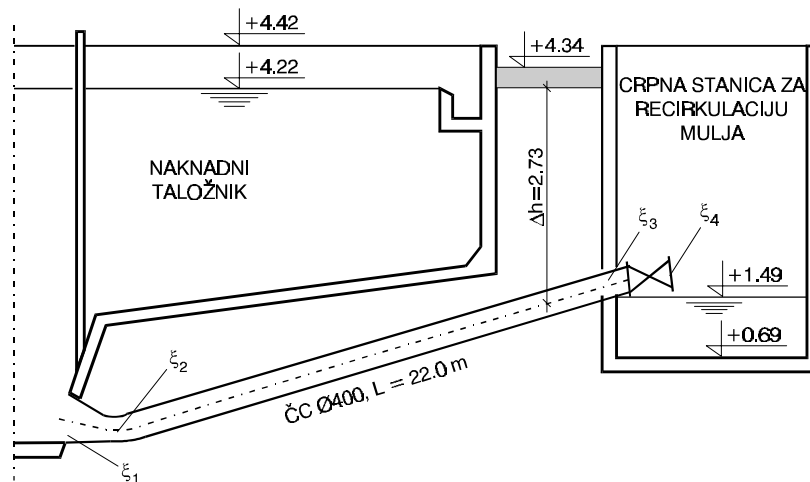
$$\Delta h_{m1} (\text{m}) = \left(0.50 + 0.22 + 3.00 + 0.90 + 0.023 \cdot \frac{22.00}{0.40} \right) \cdot \frac{0.94^2}{2 \cdot 9.81} = 0.27$$

Usvaja se vrednost gubitka pritiska u sifonskom vodu od $\Delta h_{m1} = 0.27 \text{ m}$.

Razlika između nivoa vode u naknadnom taložniku i nivoa mulja u crpnoj stanici za recirkulaciju mulja je $\Delta h_n = 2.73 \text{ m}$, te će biti obezbeđeno normalno isticanje.

Prema hidrauličkom proračunu po liniji vode dobijena je kota u naknadnom taložniku.

Slika 76 - Sifonski cevovod za naknadni taložnik



— Crpna stanica za recirkulaciju mulja

U crpnu stanicu se evakuirše mulj iz oba naknadna taložnika. Tako količina mulja koji se vraća u recirkulaciju iznosi $Q_{RM} = 0.23544 \text{ m}^3/\text{s}$.

Usvajaju se tri pumpe kapaciteta po 120 l/s, (dve radna + jedna rezervna).

Odabrane su pužne pumpe sa dvo brzinskim pogonom kako bi se kapacitet crpne stanice mogao uskladiti sa kapacitetom crpne stanice za primarno dizanje.

Visina dizanja muljnih pumpi se proračunava iz relacije:

$$H_{MAN} = H_{D_{GEO}} + D \cdot \cos \alpha$$

Geodetska visina dizanja iznosi:

$$H_{GEO} = 5.65 - 1.49 = 4.16 \text{ m}$$

Prečnik puža muljne pumpe iznosi $D=850 \text{ mm}$, a ugao pod kojim se pumpe postavljaju u muljnoj šahti iznosi $\alpha=35^\circ$. Tako visina dizanja pužnih muljnih pumpi iznosi:

$$H_{MAN} (\text{m}) = H_{GEO} + D \cdot \cos \alpha = 4.16 + 0.85 \cdot \cos 35 = 4.86$$

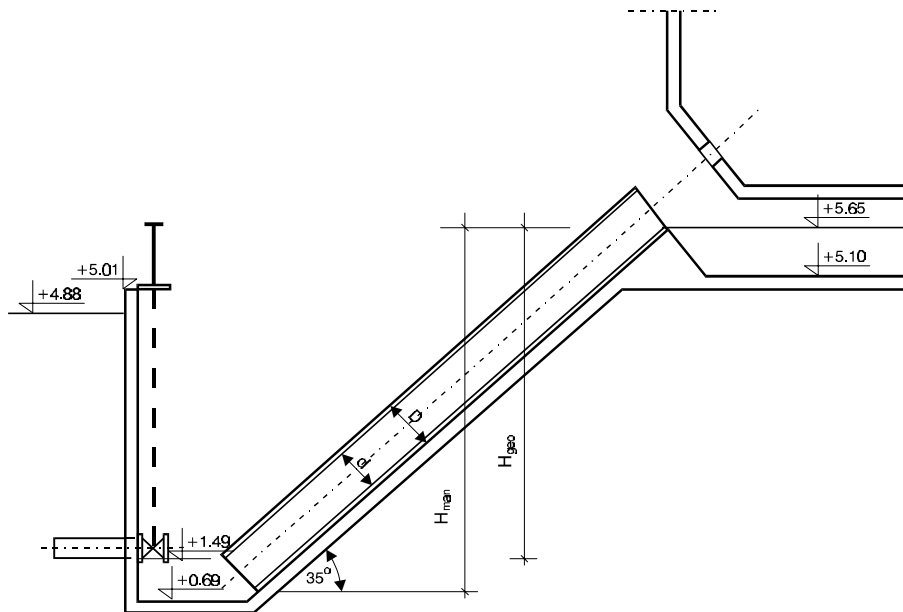
Izabrane su dvo brzinske pužne pumpe sledećih karakteristika:

- kapacitet pumpe: $Q_{MP} = 0.120 \text{ m}^3/\text{s}$
- prečnik puža: $D = 850 \text{ mm}$
- ugao postavke: $\alpha = 35^\circ$
- snaga motora: $N = 10/15 \text{ kW}$
- broj obrtaja: $n = 44/22 \text{ }^\circ/\text{min}$

Kota mulja u crpnoj stanici za recirkulaciju mulja iznosi:

$$\nabla \text{ RMCS} = \nabla \text{ R} + 1.49 \text{ m}$$

Slika 77 - Crpna stanica za recirkulaciju mulja



– **Proračun sabirnog kanala od CS do razdelne građevine RG 2**

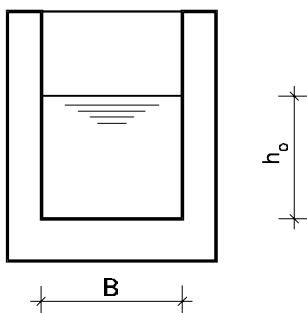
Kanalom od crpne stanice do razdelne građevine RG-2 će se transportovati količina mulja od $Q_{RM} = 0.23544 \text{ m}^3/\text{s}$ u recirkulaciji.

Usvaja se betonski muljni kanal, sa glatko malterisanim betonom, sledećih dimenzija:

- širina kanala: $B = 0.6 \text{ m}$
- dužina kanala: $L = 5.0 \text{ m}$

Usvojen je kanal širine $B = 600 \text{ mm}$ i dužine $L = 5.00 \text{ m}$. Za navedene parametre i linijski pad kanala od $i = 1\text{‰}$, normalna dubina kanala - h_0 se proračunava iz izraza za maksimalni protok kanalom.

Slika 78 - Poprečni presek



$$Q_{RM} = \frac{1}{n} \cdot i^{1/2} \cdot \frac{[B \cdot h_0]^{5/3}}{[B + 2 \cdot h_0]^{2/3}}$$

Vrednost koeficijenta hrapavosti kanala, za kanal od betona, usvaja se iz tablica. Za proračun smo usvojili uglačani beton ($n = 0.011$), pa je vrednost iz izraza $\frac{1}{n} (\text{m}^{1/3}/\text{s}) = 90$.

Zamenom vrednosti u gornjoj relaciji se dobija da je normalna dubina kanala: $h_0 = 0.436 \text{ m}$

Usvaja se, za maksimalni protok $Q_{RM} = 0.23544 \text{ m}^3/\text{s}$, normalna dubina kanala od $h_0 = 0.44 \text{ m}$.

Brzina proticaja kroz kanal, za usvojene parametre, iznosi $v = 0.90 \text{ m/s}$.

Linijski gubitak u kanalu iznosi:

$$\Delta h_L = i \cdot L = 0.001 \cdot 5 \text{ m} = 0.005 \text{ m} \quad 0.01 \text{ m}$$

– **Proračun visine preliivanja na prelivu za višak mulja na sabirnom kanalu od CS do razdelne građevine RG-2**

Za evakuaciju viška mulja iz kanala u količini od $Q_{VM} = 4.17$ l/s usvojen je pravougaoni preliv na sabirnom muljnom kanalu od muljne šahte do razdelne građevine RG-2, preko koga se višak mulja izliva u prelivni muljni šaht, iz koga se cevovodom višak mulja gravitaciono odvodi u muljnu šahtu za višak mulja.

Karakteristike usvojenog preliiva za višak mulja su:

- visina preliivanja: H_0
- koeficijent preliivanja: m
- širina prelivne ivice: $b = 0.2$ m

Iz relacije za maksimalni protok višaka mulja iz muljnog kanala dobija se potrebna visina preliivanja.

$$Q_{VM} = m \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot H_0^{3/2}$$

$$m = \left(0.405 + \frac{0.0027}{H_0}\right)$$

Zamenom izraza za koeficijent preliivanja u gornjoj relaciji dobija se:

$$Q_{VM} = \left(0.405 + \frac{0.0027}{H_0}\right) \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot H_0^{3/2},$$

Tražena visina preliivanja iznosi $H_0 = 0.047$ m.

– **Proračun kanala od razdelne građevine RG-2 do bioloških bazena**

Od razdelne građevine RG-2 do bioloških bazena će se transportovati povratni mulj kroz dva betonska kanala. Očekivana količina povratnog mulja u svakom od kanala iznosi polovinu maksimalne količine mulja u recirkulaciji, pa je proticaj povratnog mulja u jednom kanalu $Q_{RM}^* = 0.118$ m³/sec.

Usvajaju se betonski muljni kanali od glatko malterisanog betona, sledećih dimenzija:

- širina kanala: $B = 0.4$ m
- dužina kanala: $L = 10.0$ m

Usvojeni su kanali širine $B = 400$ mm i dužine $L = 10.00$ m. Za navedene parametre i linijski pad kanala od $i = 2\text{‰}$, normalna dubina kanala - h_0 se proračunava iz izraza za maksimalni protok kanalom.

$$Q_{RM}^* = \frac{1}{n} \cdot i^{1/2} \cdot \frac{[B \cdot h_0]^{5/3}}{[B + 2 \cdot h_0]^{2/3}}$$

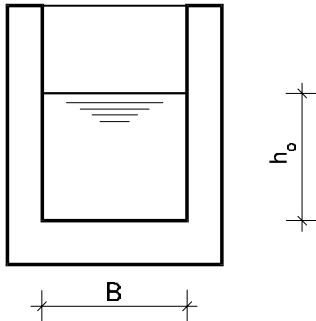
Vrednost koeficijenta hrapavosti kanala, za kanal od betona, usvaja se iz tablica. Za proračun smo usvojili uglačani beton ($n = 0.011$), pa je vrednost iz izraza $\frac{1}{n} (m^{1/3}/s) = 90$.

Zamenom vrednosti u gornjoj relaciji se dobija da je normalna dubina kanala: $h_0 = 0.30$ m
Usvaja se, za maksimalni protok Q_{RM}^* , normalna dubina kanala od $h_0 = 0.30$ m.

Brzina proticaja kroz kanal, za usvojene parametre, iznosi:

Slika 79 - Poprečni presek

$$v = 0.98 \text{ m/s}$$



Linijski gubitak u kanalu iznosi:

$$\Delta h_L = i \cdot L = 0.002 \cdot 10 \text{ m} = 0.02 \text{ m}$$

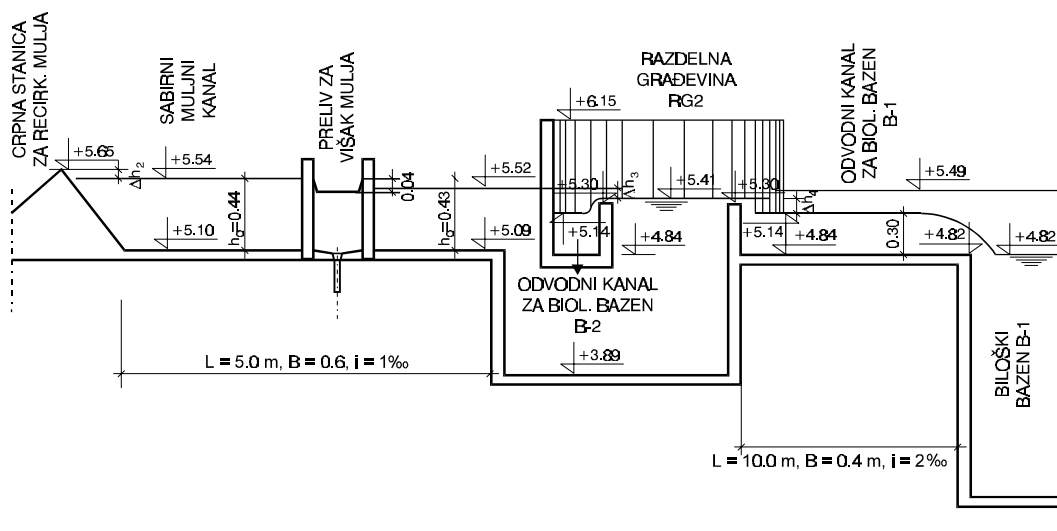
Kota u bioeracionom bazenu dobijena je iz hidrauličkog proračuna po linije vode.

Ukupan hidraulički gubitak na potezu od crpne stanice za recirkulaciju mulja do biološkog bazena iznosi:

$$\begin{aligned} \Delta h_{uk}(\text{m}) &= \Delta h_2 + \Delta h_{l-1} + \Delta h_{pr} + \Delta h_3 + \Delta h_4 + \Delta h_{l-2} + h_0 = \\ &= 0.11 + 0.01 + 0.01 + 0.11 + 0.27 + 0.02 + 0.30 = 0.83 \text{ m} \end{aligned}$$

Ova vrednost će biti dovoljna da se obezbedi normalno tečenje mulja kanalom.

Slika 80 - Razdelna građevina



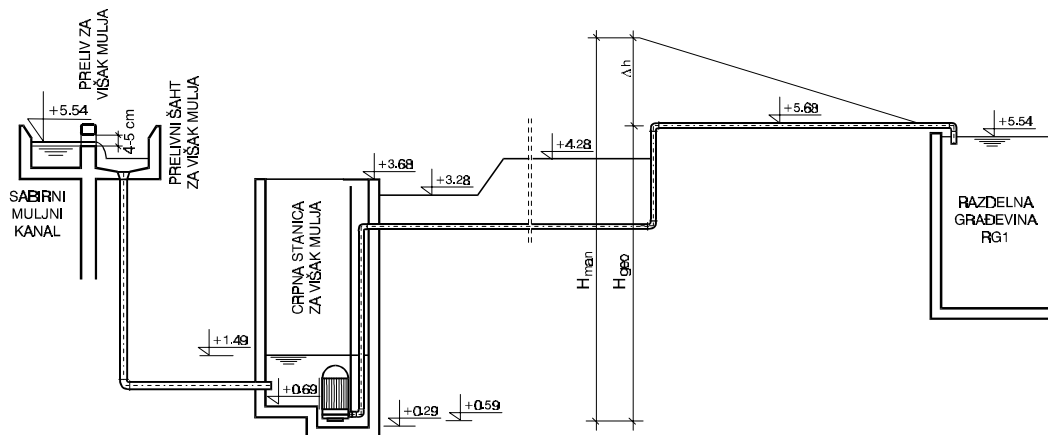
- Proračun crpne stanice za višak mulja

Višak mulja, evakuisan preko preliva za višak mulja na sabirnom kanalu, se iz prelivnog miljnog šahta gravitaciono cevovodom odvodi u crpnu stanicu za višak mulja.

Za prepumpavanje viška mulja od crpne stanice do razdelne građevine RG-1 usvajaju se dve centrifugalne kanalizacione pumpe (jedna radna + jedna rezervna).

Kapacitet usvojenih centrifugalnih muljnih pumpi za transport viška mulja iznosi $Q_{MP} = 0.020 \text{ m}^3/\text{s}$.

Slika 81 - Crpna stanica za višak mulja



Visina dizanja muljnih pumpi se proračunava iz relacije:

$$H_{MAN} = H_{GEO} + \Delta h_{VMP}$$

Geodetska visina dizanja iznosi:

$$H_{GEO} = 5.68 - 0.59 = 5.09 \text{ m}$$

Ukupni linijski i lokalni gubici u potisnom vodu centrifugalne muljne pumpe - Δh_{VMP} (m), a određuju se iz relacije:

$$\Delta h_{VMP} = \left(\zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 + \zeta_4 + \zeta_5 + \lambda \cdot \frac{L}{D} \right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

- $\zeta_1 = 1.00$ - koef. lokalnog gubitka na ulazu
- $\zeta_2 = 0.66$ - koef. lokalnog gubitka za koleno 90°
- $\zeta_3 = 1.30$ - koef. lokalnog gubitka za povratnu klapnu
- $\zeta_4 = 3.00$ - koef. lokalnog gubitka na ventilu
- $\zeta_5 = 1.00$ - koef. lokalnog gubitka na izlazu
- $L = 90 \text{ m}$ - dužina potisnog voda
- $D = 150 \text{ mm}$ - prečnik potisnog voda
- $k = 0.1 \text{ mm}$ - koeficijent hrapavosti

Koeficijent linijskog otpora $\lambda = f(Re, D/K)$ se određuje grafički sa dijagrama 1, u zavisnosti od vrednosti Re i odnosa D/K .

Za izračunatu vrednost $Re = 1.44 \times 10^5$, kao i za odnos $D/K = 1500$, dobija se sa dijagrama 1 vrednost za koeficijent linijskog otpora $\lambda = 0.020$.

Za usvojeni maksimalni kapacitet pumpe za evakuaciju viška mulja od $Q_{MP} = 0.020 \text{ m}^3/\text{s}$ dobija se brzina proticaja mulja kroz cevovod vrednosti $v = 1.11 \text{ m/s}$.

Zamenom svih navedenih parametara u izrazu za ukupne linijske i lokalne gubitke dobijamo vrednost Δh :

$$\Delta h_{VMP} (\text{m}) = \left(1.00 + 5 \cdot 0.66 + 1.30 + 3.00 + 1.00 + 0.020 \cdot \frac{90.0}{0.15} \right) \cdot \frac{1.11^2}{2 \cdot 9.81} = 1.36$$

Sada je potrebna visina dizanja muljnih pumpi jednaka:

$$H_{MAN} \text{ (m)} = H_{GEO} + \Delta h_{VMP} = 5.09 + 1.36 = 6.45$$

Prema provedenom proračunu usvajaju su kanalizacione jednokanalne uronjene pumpe FUP -"Jastrebac"-Niš sledećih karakteristika:

- tip pumpe: 1.100-250/4 B
- kapacitet: $Q_{MP} = 20 \text{ l/s}$
- visina dizanja: $H = 8.50 \text{ m}$
- snaga motora: $N = 5.5 \text{ kW}$

Postavljaju se dve centrifugalne muljne pumpe (jedna radna+jedna rezervna).

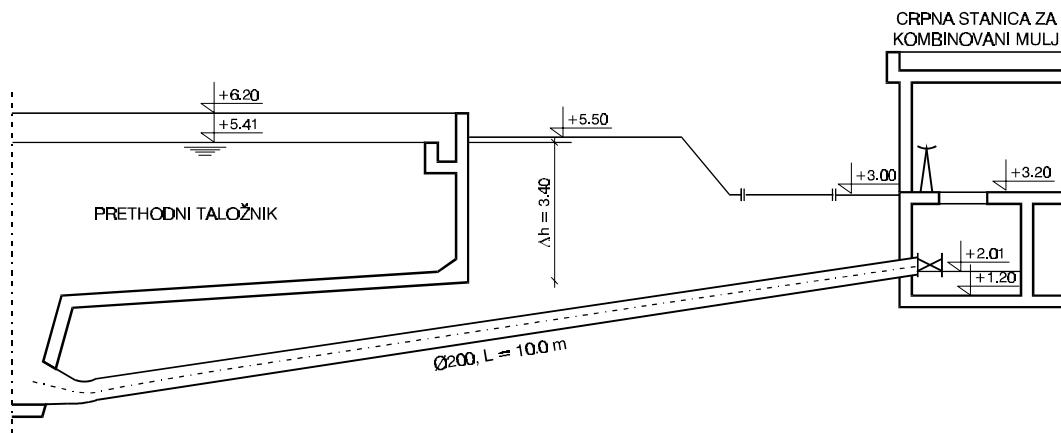
Kota u bazenu crpne stanice za višak mulja iznosi:

$$\nabla \text{ VMCS} = \nabla \text{ R} + 1.49 \text{ mm}$$

– Proračun sifonskog voda od prethodnog taložnika do crpne stanice

Sifonskim cevovodom se može transportovati višak mulja centrifugalnom muljnom pumpom maksimalnog usvojenog kapaciteta $Q_{MP} = 0.020 \text{ m}^3/\text{s}$.

Slika 82 - Sifonski cevovod od prethodnog taložnika do crpne stanice



U primarnom taložniku se izdvaja kombinovani mulj koji je, sastavljen od primarnog mulja, koji ulazi sa otpadnom vodom i viška aktivnog mulja, koji se vraća sa naknadnog taložnika.

Za kombinovani mulj se usvaja centrifugalna muljna pumpa istog kapaciteta kao za višak mulja, pa je usvojeni maksimalni kapacitet kombinovanog mulja $Q_{MP} = 0.020 \text{ m}^3/\text{s}$.

Za transport kombinovanog mulja usvaja se sifonski cevovod, dužine $L = 10.00 \text{ m}$, prečnika cevi $D = 200 \text{ mm}$.

Na bazi kapaciteta transporta i preseka cevi dobija se brzina proticaja kombinovanog mulja kroz cevovod od $v = 0.64 \text{ m/s}$. Usvojeni koeficijent hrapavosti cevi je $k = 0.5 \text{ mm}$.

Za izračunatu vrednost $Re = 1.10 \times 10^5$, kao i za odnos $D/K=400$, dobija se sa dijagrama 1 vrednost za koeficijent linijskog otpora $\lambda = 0.026$.

Za usvojeni maksimalni kapacitet pumpe za evakuaciju kombinovanog mulja od $Q_{MP}=0.020 \text{ m}^3/\text{s}$ dobija se brzina proticaja mulja kroz cevovod vrednosti $v=0.64 \text{ m/s}$.

Ukupni linijski i lokalni gubici u sifonskom cevovodu - Δh (m), a određuju se iz relacije:

$$\Delta h = \left(\zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 + \zeta_4 + \lambda \cdot \frac{L}{D} \right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$\zeta_1 = 0.50$ - koef. lokalnog gubitka na ulazu

$\zeta_2 = 0.22$ - koef. lokalnog gubitka za koleno 60°

$\zeta_3 = 3.00$ - koef. lokalnog gubitka na zatvaraču

$\zeta_4 = 1.00$ - koef. lokalnog gubitka na izlazu

$$\Delta h(\text{m}) = \left(0.50 + 0.22 + 3.00 + 1.00 + 0.026 \cdot \frac{10.00}{0.20} \right) \cdot \frac{0.64^2}{2 \cdot 9.81} = 0.13$$

Razlika između nivoa mulja u prethodnom taložniku i nivoa mulja u crpnoj stanici je $\Delta h_n = 3.40$ m, što omogućava normalno isticanje.

Kota u primarnom taložniku je dobijena iz hidrauličkog proračuna po liniji vode.

Kota u bazenu crpne stanice za crpljenje kombinovanog mulja iz prethodnog taložnika na prethodni ugušćivač je:

$$\nabla \text{MCS} = \nabla \text{R} + 2.01 \text{ m}$$

– Proračun crpne stanice za crpljenje kombinovanog mulja na prethodni ugušćivač

Kombinovani mulj iz zajedničke crpne stanice za oba primarna taložnika se evakuise na prethodni ugušćivač periodično.

Za evakuaciju se koriste potopljene jednokanalne centrifugalne muljne pumpe. Radi ravnomernosti rada, kao i problema sa održavanjem opreme, za evakuaciju kombinovanog mulja se usvajaju dve centrifugalne muljne pumpe (jedna radna + jedna rezervna), kao i kod prethodnih prepumpavanja na liniji mulja.

Prema usvojenom kriterijumu se kanalizacione jednokanalne uronjene pumpe FUP - "Jastrebac"-Niš sledećih karakteristika:

- tip pumpe: 1.100-250/4 B
- kapacitet: $Q_{MP} = 20$ l/s
- visina dizanja: $H = 8.50$ m
- snaga motora: $N = 5.5$ kW

Postavljaju se dve centrifugalne muljne pumpe (jedna radna + jedna rezervna).

Visina dizanja muljnih pumpi se proračunava iz relacije:

$$H_{MAN} = H_{GEO} + \Delta h_{KM}$$

Geodetska visina dizanja iznosi:

$$H_{GEO} = 4.60 - 1.50 = 3.10 \text{ m}$$

Ukupni linijski i lokalni gubici u potisnom vodu centrifugalne muljne pumpe - $\Delta h_{KM}(m)$, a određuju se iz relacije:

$$\Delta h_{KM} = \left(\zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 + \zeta_4 + \zeta_5 + \lambda \cdot \frac{L}{D} \right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$\zeta_1 = 1.00$ - koef. lokalnog gubitka na ulazu

$\zeta_2 = 0.66$ - koef. lokalnog gubitka za koleno 90°

$\zeta_3 = 1.30$ - koef. lokalnog gubitka za povratnu klapnu

$\zeta_4 = 3.00$ - koef. lokalnog gubitka na zatvaraču

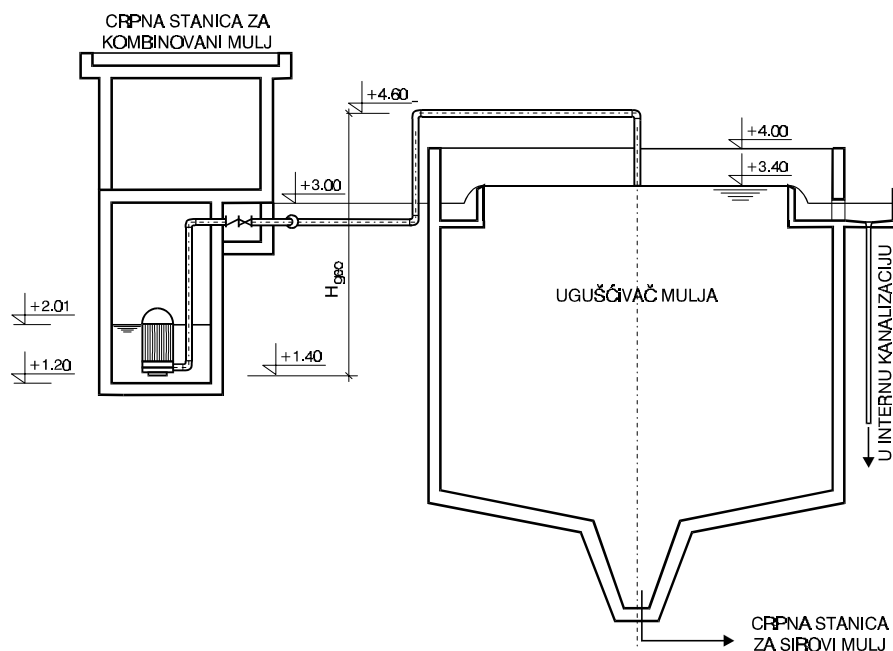
$\zeta_5 = 1.00$ - koef. lokalnog gubitka na izlazu

$L = 40$ m - dužina potisnog voda

$D = 150$ mm - prečnik potisnog voda

$k = 0.1$ mm - koeficijent hrapavosti

Slika 83 - Transport kombinovanog mulja na primarno ugušćavanje



Koeficijent linijskog otpora $\lambda = f(Re, D/K)$ se određuje grafički sa dijagrama 1, u zavisnosti od vrednosti Re i odnosa D/K .

Za izračunatu vrednost $Re = 1.44 \times 10^5$, kao i za odnos $D/K = 1/500$, dobija se sa dijagrama 1 vrednost za koeficijent linijskog otpora $\lambda = 0.020$.

Za usvojeni maksimalni kapacitet pumpe za evakuaciju viška mulja od $Q_{MP} = 0.020$ m³/sec dobija se brzina proticaja mulja kroz cevovod vrednosti $v = 1.11$ m/s.

Zamenom svih navedenih parametara u izrazu za ukupne linijske i lokalne gubitke dobijamo vrednost Δh_{km} :

$$\Delta h_{VMP} (m) = \left(1.00 + 6 \cdot 0.66 + 1.30 + 3.00 + 1.00 + 0.020 \cdot \frac{40.0}{0.15} \right) \cdot \frac{1.11^2}{2 \cdot 9.81} = 0.98$$

Sada je potrebna visina dizanja muljnih pumpi jednaka:

$$H_{MAN} (m) = H_{GEO} + \Delta h_{VMP} = 3.20 + 0.98 = 4.18$$

Izabrane pumpe odgovaraju zahtevanim hidrauličkim parametrima.

Kota u bazenu crpne stanice za kombinovani mulj iznosi:

$$\nabla VCSKM = \nabla R + 2.01 \text{ mm}$$

Nadmuljna voda iz primarnog ugušćivača u količini od $Q_{NV-I} = 42.05 \text{ m}^3$ na dan, evakuiše se preko obodnog prelivnog kanala u internu kanalizaciju na postrojenju.

Interna kanalizacija na celom postrojenju se evakuiše u crpnu stanicu za primarno dizanje.

– Ostali objekti u liniji mulja

Sa primarnim ugušćivačem mulja se završava linija pada hidrauličkih gubitaka duž toka mulja.

Svi ostali uređaji su nezavisno postavljeni, a evakuacija mulja između njih se vrši pomoću muljnih pumpi, centrifugalnog i vijčanog mono tipa.

Otpadne vode, nadmuljna voda u ugušćivačima i ocedna voda od presa, evakuišu se preko preliva na ugušćivačima, odnosno preko sabirnog korita ispod trake kod prese, a zatim se odvođe u internu kanalizaciju na postrojenju.

Dimenzionisanje i proračunavanja ovih odvodnih vodova, koji su kombinacija kratkih cevovoda i kanalizacionih kanala, spada u odvojeni projekat u okviru projektne dokumentacije postrojenja (Projekat interne kanalizacije na postrojenju).

U ostale objekte u liniji mulja spadaju:

- crpna stanica za primarno ugušćeni sirovi mulj
- anaerobni digestor AD-I
- crpna stanica za primarno prevreli mulj
- anaerobni digestor AD-II
- sifonski cevovod za prevreli mulj
- naknadni ugušćivač za prevreli mulj
- crpna stanica za prevreli mulj
- trakasta muljna presa
- traka za evakuaciju presovanog mulja
- kontejner za mulj

Crpna stanica za primarno ugušćeni sirovi mulj

Crpna stanica za primarno ugušćeni sirovi mulj služi za evakuaciju primarno ugušćenog sirovog mulja iz primarnog ugušćivača u anaerobni digestor AD-I.

Dnevni kapacitet prepumpavanja iznosi $Q_{SM} = 50.45 \text{ m}^3$ na dan.

Pumpa radi periodično, u vremenskom intervalu koji omogućava da se dopuni u anaerobnom digestoru AD-I prethodno evakuisana količina primarno prevrelog mulja.

Dinamika rada pumpe se mora usaglasiti sa dinamikom rada anaerobnog digestora AD-I.

Kako dalji hidraulički proračun pojedinačnih nezavisno postavljenih objekata neće biti prezentiran, daće se samo odrednice za projektovanje:

- potreban kapacitet pumpi (jedna radna+jedna rezervna): $Q_{SM} = 20 \text{ l/s}$
- potrebna visina dizanja na anaerobni digestor AD-I: $H_{MAN} \approx 10 \text{ m}$
- potrebna dužina cevovoda: $l_{uk} \approx l_p + 20 \text{ m}$
(l_p - rastojanje od crpne stanice do digestora AD-I)

Svi potrebni detalji se mogu videti na crtežu slika 23, na objektu crpne stanice za kombinovani mulj, sa kojom je crpna stanica za sirovi mulj slična.

Crpna stanica za primarno prevreli mulj

Crpna stanica za primarno prevreli mulj služi za evakuaciju primarno prevrelog mulja iz anaerobnog digestora AD-I u anaerobni digestor AD-II.

Dnevni kapacitet prepumpavanja iznosi $Q_{SM} = 50.45 \text{ m}^3$ na dan.

Pumpa radi periodično, u vremenskom intervalu koji omogućava da se dopuni u anaerobnom digestoru AD-II prethodno evakuisana količina prevrelog mulja.

Dinamika rada pumpe se mora usaglasiti sa dinamikom rada anaerobnog digestora AD-II.

Kako dalji hidraulički proračun pojedinačnih nezavisno postavljenih objekata neće biti prezentiran, daće se samo odrednice za projektovanje:

- potreban kapacitet pumpi (jedna radna+jedna rezervna): $Q_{SM} = 20 \text{ l/s}$
- potrebna visina dizanja na anaerobni digestor AD-II: $H_{MAN} \approx 10 \text{ m}$
- potrebna dužina cevovoda: $l_{uk} \approx l_p + 20 \text{ m}$
(l_p - rastojanje od crpne stanice do digestora AD-II)

Svi potrebni detalji se mogu videti na crtežu slika 23, na objektu crpne stanice za kombinovani mulj, sa kojom je crpna stanica za primarno prevreli mulj slična.

Sifonski cevovod za prevreli mulj

Sifonski cevovod za prevreli mulj služi za evakuaciju prevrelog mulja iz anaerobnog digestora AD-II u naknadni ugušćivač.

Dnevni kapacitet evakuacije iznosi $Q_{SM} = 50.45 \text{ m}^3$ na dan.

Sifonski cevovod radi periodično, u vremenskom intervalu koji omogućava da se dopuni u naknadnom ugušćivaču prethodno evakuisana količina naknadno ugušćenog prevrelog mulja. Za regulaciju se koristi automatski cevni ventil.

Dinamika rada automatskog cevnog ventila se mora usaglasiti sa dinamikom rada naknadnog ugušćivača.

Svi potrebni detalji se mogu videti na crtežu slika 22, na objektu sifonskog cevovoda za kombinovani mulj, sa kojom je sifonski cevovod za prevreli mulj sličan.

Naknadni ugušćivač za prevreli mulj

Naknadni ugušćivač je, kako po kapacitetu, tako i po svim ostalim građevinskim i mašinsko-tehničkim karakteristikama identičan primarnom ugušćivaču, pa se ceo proračun za primarni ugušćivač sirovog mulja može primeniti za naknadni ugušćivač prevrelog mulja.

Crpna stanica za naknadno ugušćeni prevreli mulj

Crpna stanica za naknadno ugušćeni prevreli mulj služi za evakuaciju ugušćenog prevrelog mulja iz naknadnog ugušćivača u dozator za napajanje trakastih filter presa.

Dnevni kapacitet prepumpavanja iznosi $Q_{SM} = 35.5 \text{ m}^3$ na dan.

Za prepumpavanje se koriste vijčane mono pumpe (jedna radna+jedna rezervna). Pumpa radi periodično, u vremenskom intervalu koji je propisan za dnevni kapacitet prese.

Dinamika rada pumpe se mora usaglasiti sa dinamikom rada trakste filter prese za mulj.

Svi potrebni detalji se mogu videti na crtežu slika 23, na objektu crpne stanice za kombinovani mulj, sa kojom je crpna stanica za naknadno ugušćeni prevreli mulj slična u građevinskom delu, dok je tip pumpe i postavka pumpe potpuno drugačija (vijčana mono pumpa se nalazi postavljena u zgradi objekta trakastih filter presa, a povezana je usisnim cevovodom sa crpnom stanicom za naknadno ugušćeni prevreli mulj).

5.4. POSTROJENJE KAPACITETA OD 100 000 ES

– Hidrauličko opterećenje postrojenja

Hidrauličko opterećenje postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, za kapacitet od 100 000 ES, preračunava se iz sledećih relacija:

- broj ekvivalentnih stanovnika: $N_{ES} = 100\ 000\ ES$
- norma otpadnih voda: $q = 280\ l\ po\ ES\ na\ dan$
- srednje dnevno hidrauličko opterećenje se preračunava iz relacije:

$$Q_{sr}^d = N_{ES} \cdot q = 100000 \cdot 0.28 = 28000\ m^3\ na\ dan = 1166.67\ m^3 / h = 324\ l / s$$

- koeficijent opšte neravnomernosti se izračunava iz izraza:

$$K_{op} = 2.69 \cdot Q_{sr}^d^{(-0.121)} = 2.69 \cdot 324^{(-0.121)} = 1.337$$

- maksimalno časovno hidrauličko opterećenje se određuje iz relacije:

$$Q_{max}^h = Q_{sr}^d \cdot K_{op} = 28000 \cdot 1.337 = 37436\ m^3\ na\ dan = 1560\ m^3 / h = 433.3\ l / s$$

- maks. dnevno hidrauličko opterećenje se određuje preko koef. dnevne neravnomernosti:

$$Q_{max}^d = Q_{sr}^d \cdot K_d = 28000 \cdot 1.25 = 35000\ m^3\ na\ dan = 1458.34\ m^3 / h = 405\ l / s$$

– Biološko opterećenje postrojenja

Biološko opterećenje postrojenja za prečišćavanje upotrebljenih voda, za kapacitet od 50 000 ES, izračunava se na osnovu specifičnog biološkog opterećenja izraženog preko biološke potrošnje kiseonika (BPK₅) po ekvivalentnom stanovniku na dan:

$$b = 70\ g\ O_2(BPK_5)\ po\ ES\ na\ dan$$

Na taj način, izračunava se biološko opterećenje postrojenja iz relacije:

$$B(kg\ BPK_5 / dan) = N_{ES} \cdot b = 100\ 000 \cdot 0.07 = 7\ 000$$

– Osnovni parametri i šema postupka

Osnovni parametar prilikom izbora tehnološke šeme prečišćavanja otpadnih voda je zahtevani kvalitet finalnog efluenta pre upuštanja u recipijent. Kao granični uslov pri dimenzionisanju postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda usvojen je sledeći kriterijum: na kraju primarnog i sekundarnog postupka obrade vode koja izlazi iz sistema za obradu mora zadovoljavati sledeće uslove:

- $C_{BPK_5} < 25\ mgO_2/l$ (bez nitrifikacije), uz minimalan stepen redukcije 75%
- $C_{HPK} < 125\ mgO_2/l$, uz minimalan stepen redukcije 75%
- $C_{susp. materije} < 30\ mg/l$, uz minimalan stepen redukcije 90%

Posle tercijalne obrade vode koja se upušta u recipijent mora da zadovolji sledeće uslove:

- $C_{BPK_5} < 4\ mgO_2/l$
- $C_{susp. materije} < 30\ mg/l$

Obzirom da minimalni srednji tridesetodnevni proticaj 95% obezbeđenosti iznosi $Q_{95\%}=0.040 \text{ m}^3/\text{s}$, ne može se računati sa efektima razblaženja i zbog toga kvalitet mora odgovarati propisanim parametrima za vodotoke klase IIa.

Za prečišćavanje kanalizacionih voda, za kapacitet postrojenja od 100 000 ES, najprikladniji način prerade je aerobni tretman sa aktivnim muljem, gde se jedan deo aktivnog mulja iz naknadnog taložnika vraća u bioeracioni bazen, u cilju zasejavanja otpadne vode mikroorganizmima koji razgrađuju organski materijal. Tako se održava potrebna koncentracija biološki aktivnog mulja u bioeracionom bazenu, odnosno održava se razmera između dovedene nove organske materije koja treba da se razgradi (hrane), prema masi živih organizama u mulju.

Ovakav koncept prečišćavanja otpadnih voda se pokazao kao veoma pogodan u praksi iz razloga što je u mogućnosti da prati "udare" opterećenja bez dogradnje novih objekata i ugradnje nove opreme. Sistem je veoma fleksibilan u pogledu proširenja kapaciteta uređaja ako se prilikom eksploatacije ukaže potreba, odnosno ako planirani kapacitet nije u stanju da podmiri novonastale potrebe.

Navedeni proces prečišćavanja se sastoji od mehaničkog i biološkog dela procesa pri čemu se u mehaničkom delu, posle podizanja otpadnih voda na kotu separatora, na automatskoj rešetki otklanjaju dimenzioni čvrsti otpatci (dijametra većeg od svetlog otvora rešetke), a zatim se u aerisanom peskolovu vrši taloženje peska i ostalih lakotaloživih supstanci (inertno taloženje).

U biološkom delu postrojenja se vrši razgradnja rastvorenih organskih materija postupkom sa aktivnim muljem uz delimičnu aerobnu stabilizaciju aktivnog mulja. U biološkom delu postrojenja se vrši razgradnja rastvorenih organskih materija metodom sa aktivnim muljem, u vremenu i količini kiseonika potrebnoj za aerobnu stabilizaciju izreagovalog aktivnog mulja.

Istaloženi mulj se zgrće na dnu naknadnog taložnika i odatle cevovodom transportuje do šahta odakle se pomoću pužnih pumpi vrši recirkulacija aktivnog mulja (povratni mulj), odnosno prebacivanje aktivnog mulja u bioeracioni bazen. Višak mulja sa dna naknadnog taložnika pomoću uronjenih muljnih pumpi prebacuje se ponovo u primarni taložnik gde se na taj način pospešuje taloženje primarnog mulja.

Višak mulja iz primarnog taložnika se evakuše u objekat za prethodno zgušnjavanje mulja, gde odležava jedan određeni period. Pri tome se nadmuljna voda vraća nazad u proces, a ugušćeni mulj odvodi do digestora za mulj, u kome se vrši anaerobno vrenje mulja. Oslobođeni bio gas iz digestora se odvodi na sagorevanje na baklju. Ukoliko je prinos gasa značajan, oslobođeni bio gas se evakuše u rezervoar, balon za gas.

Anaerobno stabilizovani mulj se gravitaciono ispušta do uređaja za naknadno zgušnjavanje mulja. Pri tome se nadmuljna voda vraća nazad u proces, a ugušćeni mulj odvodi do filter prese gde se finalno obrađuje. Nakon dehidratacije, mulj, koji je posle anaerobnog vrenja u digestoru inertan, sakuplja se u kontejneru i odnosi na deponiju čvrstog otpada.

Tehnološka šema uređaja predviđena je po sledećim celinama:

- ulazna pužna crpna stanica
- automatska rešetka
- aerisani peskolov
- merni objekat
- primarni taložnik
- aeracija mamut rotorima
- naknadni taložnik
- recirkulacija mulja
- prethodno zgušnjavanje mulja
- anaerobna fermentacija mulja
- naknadno zgušnjavanje mulja
- dehidratacija mulja
- bazen za tercijalnu obradu (nitrifikacija denitrifikacija)
- korektivno hlorisanje - laguna retenzini prostor za kontakt hlora

Posmatrano prema liniji vode, odnosno prema liniji mulja, može se izvršiti podela objekata kako sledi i to:

Linija vode:

- ulazna crpna stanica
- automatska rešetka
- peskolov
- venturijev merni kanal
- primarni taložnik (kružni)
- bioaeracioni bazen sa mamut rotorima (karusel)
- naknadni taložnik (kružni)
- bazen za tercijalnu obradu (nitrifikacija denitrifikacija)
- korektivno hlorisanje - i laguna retenzini prostor za kontakt hlora

Linija mulja:

- crpna stanica za evakuaciju viška mulja iz sekundarnog taložnika
- crpna stanica za evakuaciju viška mulja iz primarnog taložnika
- crpna stanica za recirkulaciju mulja
- primarni zgušnjivač mulja
- digestori za mulj
- naknadni zgušnjivač mulja
- filter presa

Ostali objekti:

- upravno-pogonska zgrada
- zgrada za smeštaj filter prese
- rezervoar za biogas
- objekti neposredne sanitarne zaštite (žičana ograda i tabla upozorenja)
- zelene površine u krugu objekta

5.3.1. Dimenzionisanje objekata

5.3.1.1. Linija vode

– Pužna crpna stanica

Na kraju gradske kanalizacione mreže, posle poslednjeg šahta, na ulazu u postrojenje neophodno je izgraditi pumpnu stanicu kojom će se sakupljene otpadne vode izdići na potreban nivo, tako da dalje voda gravitaciono teče kroz objekte postrojenja.

Od opreme u crpnoj stanici se predviđa ugradnja pužnih pumpnih agregata obzirom na njihovu veoma malu osetljivost na primese koje donose fekalne otpadne vode. Pužne pumpe rade efikasno i sa znatno smanjenim dotokom od nominalnog tako da im praktično ne smeta ni rad "na prazno". Kontinuirani rad pužnih pumpi sprečava taloženje, a time i truljenje mulja u kanalskoj vodi, čime se sprečava širenje neugodnih mirisa iz ovakvih objekata. Osim toga, siguran i dugotrajan rad pužnih pumpi obezbeđen je relativno malim brojem obrtaja, kao i robusnom konstrukcijom celog agregata.

Sabirni šaht se kod pužnih pumpi gradi relativno plitko, odmah ispod dna dovodnog kanalizacionog kolektora, čime su smanjeni troškovi i teškoće zbog dubljeg ukopavanja crpnog bazena, koji je potreban kod ostalih tipova pumpi. Takođe, korito pužnih pumpi postepenim usponom izlazi iz velikih dubina, tako da pri građenju nema znatnijih problema nego pri građenju dovodnog kolektora.

Ulazna pužna crpna stanica se dimenzioniše na maksimalno opterećenje 433.3 l/s, odnosno usvajaju se pužne pumpe kapaciteta po 220 l/s (dve radne i jedna rezervna).

– Automatska rešetka

Kao prvi objekat predtretmana, prema prethodno usvojenoj i obrazloženoj tehnološkoj šemi, predviđena je automatska rešetka. U današnje vreme, izražena je tendencija izgradnje postrojenja za prečišćavanje upotrebljenih voda sa što višim efektom predtretmana. Naime, čest je slučaj u praksi, da se realizuju samo mehanički delovi sistema za prečišćavanje, tako da je potrebno postići što efikasniji predtretman radi zaštite recipijenta, a i sa povećanjem stepena mehaničkog predtretmana dolazi do sniženja organskog opterećenja biološkog stepena obrade, što dovodi, kako do smanjenja gabarita tih objekata, tako i do snižavanja energetske troškova. U slučaju da dođe do začepljenja rešetke ili zastoja u radu, tada otpadna voda teče zaobilaznim kanalom, "bypass" - om, preko ravne rešetke sa ručnim čišćenjem.

Sakupljeni komadni čvrsti otpad sa automatske rešetke se automatski izbacuje u betonsko korito, odakle se dalje odlaže u kontejnere.

Automatska rešetka se dimenzioniše na maksimalno opterećenje koje iznosi 433.3 l/s.

Usvaja se lučna rešetka koja se radi po licenci "Passavant Werke" i ugradjuje u kanal pravougaonog poprečnog preseka sledećih karakteristika:

- širina kanala: $B = 80 \text{ cm}$
- ukupna visina kanala: $H = 110 \text{ cm}$

Karakteristike "bypass" kanala su sledeće:

- širina "bypass" kanala: $B = 80 \text{ cm}$
- ukupna visina "bypass" kanala: $H = 110 \text{ cm}$.

– **Aerisani peskolov sa hvatačem ulja i masti**

U kombinovanim, komunalnim i industrijskim otpadnim vodama, obzirom na karakter otpadnih voda, moguća je pojava znatnih količina masti, plivajućih materija, peska i sličnog.

Da bi se uklonile ove nečistoće, predviđen je aerisani peskolov sa hvatačem ulja i masti. To je podužni taložnik sa translatorskim zgrtačem lako taloživih materija koje se sakupljaju na dnu bazena. Zgrtačem se istaložene čestice potiskuju do treihtera odakle se mamut pumpom evakušu u silos za pesak ($V=5.0 \text{ m}^3$) koji se nalazi u objektu pored peskolova.

Da se ne bi taložile organske materije, a radi poboljšanja flotacije eventualno prisutnih plivajućih materija, ulja i masti, u peskolov se preko sistema perforiranih čeličnih cevi uduvava vazduh u količini od $Q_v = 9 \text{ Nm}^3/\text{m}^3 \cdot \text{h}$ dužine bazena.

Usvojeni tip peskolova ima oznaku SFbS 4-2.4 sa sledećim karakteristikama:

- poprečni presek: $P_p = 4.0 \text{ m}^2$
- dužina peskolova: $L_p = 17.5 \text{ m}$
- zapremina peskolova: $V_p = 105 \text{ m}^3$

Potrebna količina vazduha za uduvavanje u podužni peskolov iznosi:

$$Q_v^* (\text{Nm}^3/\text{h}) = Q_v \cdot L_p = 9 \cdot 17.5 = 157.5$$

Prema tome, specifičan unos vazduha po m^3 zapremine peskolova i času iznosi:

$$Q_v^* (\text{Nm}^3 / \text{m}^3 \cdot \text{h}) = \frac{Q_v^*}{V_p} = \frac{157.5}{105} = 1.5$$

Masti i sve ostale prisutne plivajuće materije će se evakuirati pomoću zgrtača plivajućih materija i dalje odložiti u prihvatni šaht, odakle se pumpom evakušu na dalju obradu u digestore. Vreme zadržavanja otpadnih voda u aerisanom peskolovu iznosi:

$$Q_{\max}^h = 1560 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ odnosno } 433.3 \text{ l/s}$$

$$t_1 (\text{s}) = \frac{V_p}{Q_{\max}^h} = \frac{105}{0.4333} = 242.3 \quad \text{tj. } t_1 \approx 4.04 \text{ min}$$

$$Q_{\max}^d = 1458.34 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ odnosno } 405 \text{ l/s}$$

$$t_2 (\text{s}) = \frac{V_p}{Q_{\max}^d} = \frac{105}{0.405} = 259.3 \quad \text{tj. } t_2 \approx 4.32 \text{ min.}$$

$$Q_{\text{sr}}^d = 1166.7 \text{ m}^3/\text{h}, \text{ odnosno } 324 \text{ l/s}$$

$$t_3 (\text{s}) = \frac{V_p}{Q_{\text{sr}}^d} = \frac{105}{0.324} = 324.1 \quad \text{tj. } t_3 \approx 5.40 \text{ min.}$$

Može se zaključiti da vreme zadržavanja otpadnih voda u aerisanom peskolovu zadovoljava propisane norme, a koje za maksimalnu količinu otpadnih voda iznose: $t=4\text{-}5$ minuta.

– **Merni kanal**

Nakon prolaska kroz aerisani peskolov sa hvatačem ulja i masti otpadana voda oslobođena lako taloživih materija mineralnog porekla, kao i plivajućih materija, a pre raspodele i odlaska ka primarnim taložnicima, prolazi kroz merni uređaj za merenje proticaja tipa Venturi, kapaciteta 433.3 l/s.

– **Primarni taložnik**

Nakon prolaska kroz merni uređaj za merenje proticaja tipa Venturi, kapaciteta 433.3 l/s, voda dolazi u primarni taložnik. Otpadna voda u primarni taložnik dolazi gravitaciono u centralni cilindar i preko Štengelovih elemenata izlazi u taložnik. Zahvaljujući ravnomernoj raspodeli dotičućih otpadnih voda i umirenju toka dolazi do razdvajanja faza, pri čemu se taložive materije izdvajaju na dnu taložnika, a delimično izbistrena otpadna voda preko preliva sakuplja se u obodnom kanalu i odvodi na dalji tretman. U primarni taložnik se dovodi i višak aktivnog mulja koji takođe pospešuje taloženje čvrstih materija. Primarni taložnik je snabdeven elektromašinskom opremom za kontinuirano zgrtanje istaloženog mulja uz istovremeno sakupljanje i evakuaciju prisutnih plivajućih materija i pene.

Iz primarnog taložnika povremeno se vrši evakuacija viška mulja, odnosno istaloženi mulj pumpama se transportuje u gravitacioni ugušćivač mulja.

Elementi za dimenzionisanje taložnika su:

- Maksimalni satni dotok otpadnih voda: $Q_{\max}^h = 433.3 \text{ l/s} = 1\,560 \text{ m}^3/\text{h}$
- Vreme zadržavanja otpadnih voda u taložniku: $t = 0.5 \text{ h}$
- Hidrauličko površinsko opterećenje primarnog taložnika: $q_F = 4 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{h}$
- Prema tome, potrebna površina primarnog taložnika iznosi:

$$P_{PT} (\text{m}^2) = \frac{Q_{\max}^h}{q_F} = \frac{1560}{4} = 390$$

Usvojicemo dva primarna taložnika, pa je potrebna površina jednog taložnika $P_{PT}=106 \text{ m}^2$.

$$D (\text{m}) = \sqrt{\frac{4 \cdot P_{PT}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 195}{3.14}} = 15.76$$

Kapacitet svakog taložnika Q_{mer} iznosi:

$$Q_{\text{mer}} (\text{m}^3 / \text{h}) = \frac{Q_{\max}^h}{2} = \frac{1560}{2} = 780$$

Usvaja se primarni taložnik radijalnog tipa karakteristiuka:

- prečnik: $D_{PT} = 16 \text{ m}$
- dubina: $H_{PT} = 2.2 \text{ m}$
- površina: $P_{PT} = 201 \text{ m}^2$
- zapremina: $V_{PT} = 478 \text{ m}^3$

Prosečno vreme zadržavanja otpadnih voda u taložniku iznosi:

$$t (\text{min}) = \frac{V_{uk}}{Q_{\text{mer}}} \cdot 60 = \frac{478}{780} \cdot 60 = 36.8$$

Hidrauličko površinsko opterećenje primarnog taložnika u ovom slučaju iznosi:

$$q_F \text{ (m / h)} = \frac{Q_{\text{mer}}}{P_{\text{PT}}} = \frac{780}{201} = 3.88$$

Posle primarnog taložnika i izdvajanja nataloženih materija organskog i mineralnog porekla, otpadne vode su delimično oslobođene suspendovanih materija i u sebi nose pre svega rastvorene materije.

Zbog karaktera otpadnih voda, smatra se da će se prethodnim tretmanom na primarnom taložniku redukovati oko 20% organskih materija.

– **Pumpna stanica za evakuaciju mešanog mulja iz primarnog taložnika**

Istaloženi mulj u primarnom taložniku će se povremeno evakuisati pomoću potopljene muljne pumpe koja je montirana u šahtu neposredno pored taložnika. Dinamika evakuacije sirovog mulja mora biti usklađena sa linijom obrade mulja u gravitacionom ugušćivaču.

Usvajaju se dve potopljene muljne pumpe kapaciteta $Q = 20$ l/s, visine dizanja $H = 10$ m V.S., pri čemu je jedna pumpa radna, a druga rezervna.

Pumpe su birane u odnosu na pumpe domaće proizvodnje, proizvođač "JASTREBAC" NIŠ ili strane proizvodnje, proizvođača "FLYGHT" iz Švedske.

– **Biološki bazen**

Posle mehaničke rešetke, pumpne stanice, aerisanog peskolova sa odeljivačem masti i ulja, i primarnog taložnika otpadne vode se raspodeljuju na dva biološka bazena. Usvojeni proces prečišćavanja otpadnih voda je sa površinskom aeracijom pomoću mamut rotora.

Organsko opterećenje otpadnih voda, koje dolaze na postrojenje posle tretmana na primarnom taložniku (očekivano smanjenje 20%), iznosi:

$$B'_{\text{sp}} \text{ (kgBPK}_5 \text{ na dan)} = 7\,000 \cdot 0.8 = 5\,600$$

Prema usvojenim normativima za dimenzionisanje biološkog dela postrojenja, specifično prostorno organsko (biološko) opterećenje biološkog bazena je:

$$R_{\text{VB}} = 1.0 \text{ kg BPK}_5 \text{/m}^3 \text{ na dan}$$

Prema tome, zapremina biološkog bazena treba da iznosi:

$$V_{\text{B}} \text{ (m}^3 \text{)} = \frac{5600}{1.0} = 5600$$

Usvajaju se dva biološka bazena, svaki zapremine po $V_{\text{BB}} = 2\,800 \text{ m}^3$.

Kod anaerobne stabilizacije mulja koncentracija suve materije aktivnog mulja iznosi:

$$B_{\text{sp}} = 3.3 \text{ kg SM/m}^3$$

Obzirom da je prostorno opterećenje biološkog bazena od $R_{\text{VB}} = 1.0 \text{ kg BPK}_5 \text{/m}^3 \text{ d}$, to je opterećenje suve materije aktivnog mulja u bioaeracionom bazenu:

$$R_{\text{SM}} = 0.3 \text{ kg BPK}_5 \text{/kg SM.d.}$$

Iz ovog proizlazi da je opterećenje mulja biološkog dela postrojenja takvo da omogućava razgradnju teško razgradljivih supstanci u otpadnoj vodi. Razgradljivost teško razgradivih supstanci se nalazi u direktnoj zavisnosti od opterećenja mulja u biološkom bazenu.

Dimenzije biološkog bazena su sledeće:

- dužina: $L_{BB} = 71.6 \text{ m}$
- širina: $B_{BB} = 13.7 \text{ m}$
- dubina: $H_{BB} = 3.0 \text{ m}$
- zapremina: $V_{BB} = 2820 \text{ m}^3$

Vreme zadržavanja otpadne vode u bioaeracionom bazenu iznosi:

a) minimalno satno vreme zadržavanja

$$h_{\min}^h (\text{h}) = \frac{V_{BB}}{Q_{\text{mer}}} = \frac{2800}{780} = 3.59$$

b) minimalno dnevno vreme zadržavanja

$$h_{\min}^d (\text{h}) = \frac{V_{BB}}{Q_{\text{max}}^d / 2} = \frac{2 \cdot 2800}{1458.34} = 3.84$$

c) prosečno dnevno vreme zažavanja

$$h_{\text{sr}}^d (\text{h}) = \frac{V_{BB}}{Q_{\text{sr}}^d / 2} = \frac{2 \cdot 2800}{1167.7} = 4.80$$

Sa vremenom zadržavanja od 3.5-5^h i organskim opterećenjem od 0.3 kg BPK_s/kgSM sistem spada u nisko opterećeno postrojenje sa srednjim vremenom zadržavanja. To znači da će aktivni mulj biti relativno stabilizovan, dok procesi nitrifikacije i denitrifikacije neće biti optimalno izvršeni.

Kako je zahtev za efluentom, zbog kvaliteta recipijenta, jako visok, to se mora vršiti i tercijalna obrada, pa nema potrebe za produženom aeracijom u bioaeracionom bazenu, kao metodom za treman otpadnih voda, koji, osim stabilizacije mulja, vrši i adekvatnu nitrifikaciju i denitrifikaciju otpadne vode. Navedeni metod produžene aeracije zahteva znatno duže vreme zadržavanja u procesu (prosečno od 18-24^h) čime bi se značajno povećali gabariti postrojenja, koji bi za direktnu posledicu imali značajno veća ulaganja, pre svega investiciona u opremu i radove.

Za ostvarivanje biološkog procesa prečišćavanja otpadnih voda metodom s aktivnim muljem, neophodno je vršiti aeraciju otpadnih voda, kako bi se postigli uslovi za nesmetano odvijanje biološkog procesa.

U ovom slučaju aeracija se predviđa površinskim aeratorima poznatim pod komercijalnim nazivom mamut rotor. Alternativa mamut rotorima može biti i "tepih" difuzija, potopljenim baterijama difuzora, postavljenim pri dnu bioaeracionog bazena.

Praksa je pokazala da su četke u odnosu na druge tipove površinskih aeratora trajnije u pogonu. Razlog dugotrajnosti je u činjenici da su četke dvostrano oslonjene i ležaj reduktora se zbog toga manje napreže nego kod drugog tipa aeratora koji imaju samo jedan oslonac, gde se javljaju naprezanja od aksijalne i centrifugalne sile.

Efikasnost mamut rotora uglavnom odgovara ostalim tipovima aeracije, pa se ne javljaju bitne razlike u potrošnji energije. Transfer kiseonika i potrošnja energije se, slično ostalim tipovima površinskih aeratora, podešava promenom dubine urona lopatice.

Normativ unosa kiseonika u otpadnu vodu je $OC/B_{sp} = 2.0 \text{ kg O}_2/\text{kg BPK}_5$. Za ukupno organsko opterećenje od $B_{sp} = 1\,400 \text{ kg BPK}_5/\text{d}$, potrebni unos kiseonika za odvijanje biološkog procesa prečišćavanja otpadnih voda grada i industrije iznosi:

$$OC \text{ (kg O}_2 \text{ na dan)} = B_{sp} \cdot (OC/B_{sp}) = 2\,800 \cdot 2 = 5\,600$$

Časovni unos kiseonika iznosi:

$$OC_h \text{ (kg O}_2 \text{ / h)} = \frac{B_{sp}}{18 \text{ h / d}} = \frac{5600}{18} = 311.11$$

Regulacija unosa količine kiseonika u otpadnu vodu u biološkom bazenu vrši se pomoću regulacionog preliva kojim se određuje visina urona lopatice četki u vodi, a na bazi izmerene količine rastvorenog O_2 što se vrši automatski pomoću merne sonde. Takvom regulacijom dubine urona lopatica mamut rotora postiže se štednja električne energije kao i potpunim uključenjem pojedinih mamut rotora, čiji je rad automatski zavisao od koncentracije kiseonika u otpadnoj vodi u biološkom bazenu.

Što je veći uron lopatica, to je veća količina kiseonika koja se unosi u otpadnu vodu i obratno, manji uron lopatica ima za posledicu i manji unos kiseonika.

U konkretnom primeru usvaja se prosečni uron lopatica od $h = 22.5 \text{ cm}$, pri čemu je specifični unos kiseonika:

$$OC_{spec} = 7.0 \text{ kg O}_2/\text{m}^3 \cdot \text{h}$$

Na osnovu traženih kapaciteta može se izračunati ukupna dužina mamut rotora potrebna za ugradnju u biološkom bazenu, da bi se ostvarili željeni efekti:

$$L_{uk} \text{ (m)} = \frac{OC_h}{OC_{spec}} = \frac{311.11}{7.0} = 44.44$$

Usvajaju se mamut rotori jedinične dužine $L_{rot} = 6.0 \text{ m}$. Ukupan broj mamut rotora koji će biti instalirani u biološkim bazenima iznosi:

$$U \text{ (kom)} = \frac{L_{uk}}{L_{rot}} = \frac{44.44}{6.0 \text{ m}} = 7.4 \approx 8$$

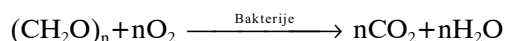
Usvaja se broj mamut rotora $U = 8 \text{ kom}$.

Dužinom od 48 m postizemo unos kiseonika od $336 \text{ kg O}_2/\text{h}$. Prema dijagramu proizvođača i sračunatoj potrebnoj količini kiseonika potrebnog za aeraciju dubina urona lopatica usvojenih mamut rotora iznosi oko $h = 21 \text{ cm}$.

Mamut rotori se obrću u jednom smeru i na taj način unose potrebnu količinu kiseonika kao i određenu količinu kinetičke energije koja omogućava kretanje otpadne vode u biološkom bazenu. Ovime se sprečava taloženje aktivnog mulja u bioaeracionom bazenu, već se aktivni mulj stalno održava u lebdećem stanju u masi vode. Biološkim prečišćavanjem otpadnih voda pomoću mikroorganizama aerobno se razgrađuju prvenstveno rastvorene organske materije. Metod bioaeracije podrazumeva čišćenje otpadne vode aktivnim muljem. Aktivni mulj, koji se pretežno sastoji od pahuljastih formi kolonija mikroorganizama (uglavnom bakterija), intenzivno se meša sa otpadnom vodom. Na ovaj način mikroorganizmi aktivnog mulja stalno dolaze u kontakt, kako sa organskim nečistoćama, tako i sa kiseonikom i održavaju se u suspenziji.

Čišćenje otpadne vode odvija se tako, što flokule mulja "preuzimaju" rastvorene organske materije iz vode transportuju kroz polupropustljive membrane unutar ćelije mikroorganizama, gde se procesima intracelularnog metabolizma unete organske materije transformišu u novu živu pahuljastu masu (prinos mase) i energiju (energetski efekat).

Deo oslobođene energije se troši za metabolizam mikroorganizama (processe disanja i druge procese u živoj masi), a deo se odaje okolnoj sredini. Krajnji produkt biooksidacije organske materije (ugljenika) su voda i ugljendioksid. Proces se može prikazati hipotetičkom reakcijom:



U prikazanoj reakciji svaki mol utrošenog kiseonika O_2 proizvodi mol ugljen dioksida CO_2 .

Kod aerobnih procesa oslobađanje energije u okolnu sredinu nema komercijalni energetski efekat, pa se ne vrši rekuperacija energije iz procesa, kao kod anaerobnih procesa.

Navedenim metaboličkim procesima organske materije iz otpadne vode jednim delom prelaze iz rastvorene i koloidne forme u čvrstu formu, koja se "ugrađuje" u pahulje mulja (mineralizacija organske materije), tako da se taloženjem izreagovalog mulja mogu ukloniti iz otpadne vode.

Deo nerastvorenih organskih materija, kao i organskih makromolekula, takođe se razlaže prema navedenim mehanizmima, s' tim što se, prethodno, ekstracelularnim biohemijskim procesima, vođenim pomoću izluženih enzima iz ćelija mikroorganizama, razgrađuju na niže molekulske i rastvorne elemente, koji se mogu transportovati u ćelije mikroorganizama, gde se vrši njihova intracelularna enzimaska razgradnja.

Tretirana otpadna voda se preko regulacionog preliva ispušta iz biološkog bazena u naknadne (sekundarne) takožnike, gde se dalje vrši njena obrada.

– Naknadni taložnik

Otpadne vode se preko raspodelnog šahta raspodeljuju u dva naknadna taložnika, (svaki bioeracioni bazen ima svoj naknadni taložnik), gde se vrši taloženje aktivnog mulja i bistrenje tretirane otpadne vode. Istaloženi mulj se pužnim agregatima vraća u recirkulaciju. Naknadni taložnici su kružnog oblika a potrebna veličina istih se izračunava na osnovu sledećih parametara:

— površinsko opterećenje suve materije naknadnog taložnika iznosi:

$$R_{NT} = 2.5 \text{ kg SM/m}^2 \cdot \text{h}$$

— zapreminsko opterećenje naknadnog taložnika, aktivnim muljem iznosi:

$$C_{SM} = 3.3 \text{ kg SM/m}^3$$

— ukupno hidrauličko opterećenje postrojenja za koje se vrši dimenzionisanje naknadnih taložnika iznosi:

$$Q_{18} = 1\,170 \text{ m}^3/\text{h} = 325 \text{ l/s}$$

Površina naknadnog takožnika, na osnovu ovih usvojenih parametara iznosi:

$$P_{NT} (\text{m}^2) = \frac{Q_{18} \times C_{SM}}{R_{NT}} = \frac{1170 \times 3.3}{2.5} = 1544.4$$

Usvajaju se dva naknadna taložnika jedinične površine $P_{NT} = 772.2 \text{ m}^2$.

Prečnik naknadnog taložnika je prema tome:

$$D(m) = \sqrt{\frac{4 \cdot P_{NT}}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 772.2}{3.14}} = 31.36$$

Usvaja se standardni prečnik naknadnog taložnika, prema preporukama Passavant Werke, sledećih karakteristika:

— prečnik:	$D_{NT} = 32 \text{ m}$
— dubina:	$H_{NT} = 2.4 \text{ m}$
— površina:	$P_{NT} = 804 \text{ m}^2$
— zapremina:	$V_{NT} = 2\,216 \text{ m}^3$

Naknadni taložnik je robusan objekat sa ugrađenom elektromašinskom opremom koja omogućava nesmetano taloženje aktivnog mulja, njegovo zgrtanje i evakuaciju uz istovremeni odvod izbistrene vode u recipijent. Kontinuiranim kružnim kretanjem zgrtača mulja potiskuju se istaložene materije ka sredini u levak za mulj.

Zgrtalica za mulj je obešena na mostnu konstrukciju, koja je pri svom kružnom kretanju vuče za sobom. Kretanje mostne konstrukcije se vrši po obodu bočnog zida taložnice preko pogonskih točkova obloženih gumom.

Zakrivljenost zgrtalice odgovara logaritamskoj spirali koja je postavljena od ivice bazena do centralnog levka za mulj. Spirala je postavljena pod takvim uglom da omogućava maksimalno zgrtanje mulja u levak. U visini ogledala vode postavljen je hvatač pene i plivajućih materija koji iste potiskuje prema jednom džepu kroz koji propadaju i idu u crpni bazen pumpne stanice za recirkulaciju mulja.

Projektovano površinsko opterećenje naknadnog taložnika iznosi:

$$p_u(m/h) = \frac{Q_{18}/2}{P_{NT}} = \frac{1170}{2 \cdot 772} = 0.76$$

Prosečno vreme zadržavanja otpadnih voda u taložniku iznosi:

$$t(h) = \frac{V_{NT}}{Q_{18}/2} = \frac{2 \cdot 2216}{1170} = 3.79$$

Ovo vreme zadržavanja je dovoljno za uspešno taloženje aktivnog mulja i bistrenje tretirane otpadne vode.

– **Pumpna stanica za recirkulaciju mulja**

Istaloženi mulj u naknadnom taložniku se vraća u recirkulaciju u biološki bazen.

Na osnovu usvojenog procesa prečišćavanja otpadnih voda i normativa za projektovanje može se odrediti recirkulacioni odnos, koji uslovljava kapacitet pumpi za recirkulaciju.

Koncentracija suve supstance aktivnog mulja u biološkom bazenu isnosi:

$$SM_{BB} = 3.3 \text{ kg SM/m}^3$$

Koncentracija suve supstance aktivnog mulja u naknadnom taložniku, koja se vraća u recirkulaciju je:

$$SM_{RM} = 6.6 \text{ kg SM/m}^3$$

Na osnovu poznatih veličina koncentracije mulja u biološkom i naknadnom taložniku može se izračunati recirkulacioni odnos na osnovu sledeće jednačine:

$$RO_{RM} (\%) = \frac{SM_{BB} \cdot 100}{SM_{RM} - SM_{BB}} = \frac{3.3 \cdot 100}{6.6 - 3.3} = 100$$

Prema tome, recirkulacija aktivnog mulja iz naknadnog taložnika u biološki bazen će se vršiti u 100% odnosu na dotok otpadnih voda.

Recirkulacija mulja će se vršiti pužnim pumpama, pri čemu je kapacitet jedne pužne pumpe $Q_{PP} = 220$ l/s, sa visinom dizanja od $H = 5$ m VS.

Usvajaju se tri pumpna agregata sa dvobrzinskim motorima od kojih će dva raditi, a treći biti rezerva.

Prednost pužnih pumpi nad klasičnim pumpama kod prepumpavanja aktivnog mulja je višestruka u nizu važnih osobina. Transport aktivnog mulja iz naknadnog taložnika u biološki bazen pužnim pumpama je povoljan zbog toga što ne dolazi do razaranja flokula koje čine aktivni mulj. Podmazivanje ležajeva kod pužnih pumpi vrši se pomoću pumpe za mast niskog pritiska. Pumpa za podmazivanje radi zajedno sa pužnom pumpom.

Tako je na veoma jednostavan i siguran način onemogućen rad pužnih agregata bez podmazivanja ležišta. Iskustva koja se poseduju u našoj zemlji iz domena primene pužnih pumpi jasno ukazuje da su pužne pumpe nezamenljive kod prepumpavanja većih količina otpadnih voda ili muljeva, sa relativno malim visinama dizanja.

Na taj način se automatski obezbeđuje potrebna količina mulja u recirkulaciji.

– **Pumpna stanica za višak aktivnog mulja**

U toku biološkog procesa prečišćavanja otpadnih voda hranljivi supstrat iz otpadne vode najvećim delom se transformiše u novu ćelijsku masu mikroorganizama, te se produkuje više biološkog mulja nego što je potrebno za recirkulaciju u biološkom bazenu.

Takođe, deo pahulja aktivnog mulja se toliko mineralizuje, da efikasnost obrade drastično opada, tako da se takve, mahom značajno otežale pahulje, trebaju evakuisati iz daljeg postupka (izreagovali aktivni mulj).

Usled navedenih pojava se pojavljuje višak mulja, koji nije niti potreban, a delom niti podoban, za prečišćavanje otpadne vode. Zbog toga se isti mora ukloniti iz procesa prečišćavanja. Višak mulja se iz mase staloženog mulja u naknadnom taložniku, posle podizanja pužnim pumpama na kanal za mulj, pre razdelne građevine za povratni mulj na bioeracione bazene, evakuše iz samog muljnog kanala bočnim regulisanim prelivom visine 5-6 cm, u prelivni šaht, odakle se cevovodom gravitaciono odvodi u muljni šaht u kome su potopljene muljne pumpe, koje višak mulja transportuju cevovodom do prethodnog taložnika.

Specifična produkcija viška mulja kod pojedinih varijanti postrojenja se kreće u okviru granica između $AM_{VM} = 0.6 - 0.9$ kg SM/kg BPK₅.

Za usvojeni proces prečišćavanja otpadnih voda, sa aktivnim muljem uz anaerobnu stabilizaciju aktivnog mulja, faktor specifične produkcije viška mulja se može usvojiti kao:

$$AM_{VM} = 0.85 \text{ kg SM/kg BPK}_5$$

Imajući u vidu da je dnevno organsko opterećenje otpadnih voda od $B_{sp} = 5\ 600$ kgBPK₅ na dan, produkcija viška mulja će iznositi:

$$G_{VM} (\text{kg SM na dan}) = B_{sp} \cdot AM_{VM} = 5\ 600 \cdot 0.85 = 4\ 760$$

Koncentracija suve materije u povratnom mulju nakon naknadnog takožnika iznosi $SM_{RM} = 6.6 \text{ kg SM/m}^3$. Iz ovog proizlazi da je ukupna dnevna količina viška aktivnog mulja:

$$AM_{VM} (\text{m}^3 \text{ na dan}) = \frac{G_{VM}}{SM_{RM}} = \frac{4760}{6.6} = 721.2$$

Pumpna stanica za evakuaciju viška mulja iz naknadnog taložnika, na dalju obradu i stabilizaciju, je posebna pumpna stanica koja je opremljena potopljenim muljnim pumpama.

Kapacitet jedne pumpe je $Q_{MP} = 20 \text{ l/s}$, a visinom dizanja: $H = 5 \text{ m VS}$. Jedna pumpa će raditi prema potrebi, dok je druga pumpa aktivna rezerva.

Višak mulja će se transportovati u primarni taložnik, gde će se mešati sa sirovom otpadnom vodom, pa će se zajedno sa ostalim nataloženim materijama gravitaciono taložiti i sakupljati na dnu taložnika. Na ovaj način se postiže efikasnost taloženja primarnog mulja koji se potom zajedno sa aktivnim muljem evakuše i dalje transportuje u gravitacioni ugušćivač.

– Tercijalna obrada otpadnih voda

U okviru tercijalne obrade otpadnih voda, pre upuštanja u recipijent, predviđa se da se vrše najmanje dva postupka:

- nitrifikacija-denitrifikacija otpadne vode
- dezinfekcija otpadne vode

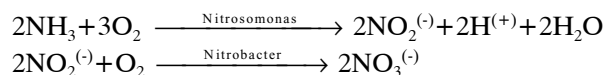
Nitrifikacija-denitrifikacija (tercijalni stepen prečišćavanja)

Uklanjanje azotnih jedinjenja biološkim postupkom nitrifikacije-denitrifikacije obavlja se u dve faze:

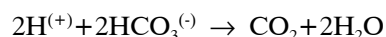
- u prvoj fazi amonijak u aerobnim uslovima oksidiše do nitrata (nitrifikacija) uz potrošnju rastvorenog kiseonika iz vode,
- u drugoj fazi se stvoreni nitrati u uslovima kada nema rastvorenog kiseonika u vodi redukuju do elementarnog azota (denitrifikacija)

Elementarni azot, N_2 , je slabo rastvorljiv gas, koji se desorpcijom uklanja iz vode.

U slučaju nitrifikacije, oksidacije amonijaka, dolazi do dvostepene reakcije:

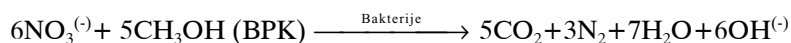


Bakterije Nitrosomonas i Nitrobacter vrše oksidaciju azota. $\text{H}^{(+)}$ reaguje sa alkalnošću iz vode i to je prikazano u sledećoj reakciji:



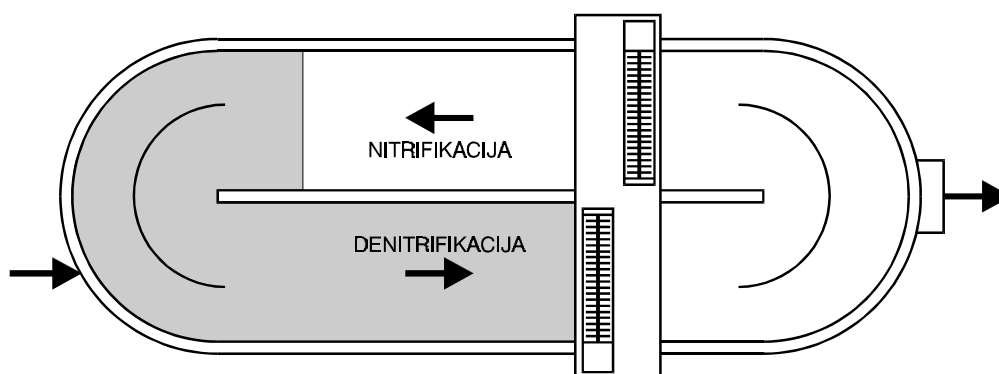
Iz reakcije se vidi da dva mola kiseonika O_2 smanjuju alkalnost za jedu mol pri čemu se proizvodi jedan mol ugljendioksida CO_2 .

U uslovima kada nema kiseonika u vodi bakterije koje oksidišu ugljenična jedinjenja su u stanju da potreban kiseonik dobiju redukcijom nitrata do elementarnog azota, i tako nastave proces oksidacije. Ovaj proces se zove denitrifikacija i mož se prikazati sledećom reakcijom:



Kao produkt reakcije stvara se gasoviti N_2 koji se desorbuje iz vode. Kao što se iz predhodne jednačine vidi prilikom denitrifikacije bakterije troše i BPK. Za obavljanje procesa biološke nitrifikacije - denitrifikacije otpadnu vodu je potrebno naizmenično izlagati aerobnim i anaerobnim uslovima. Proces se može odvijati u odvojenim bazenima (anaerobni bazen za denitrifikaciju i aerisani (aerobni) bazen za nitrifikaciju), ili u istom bazenu, pri čemu se u njemu moraju formirati anaerobne zone (slika 84). Prema preporukama renomiranih svetskih proizvođača procesne oprema za prečišćavanje otpadnih voda za proces nitrifikacije - denitrifikacije koristi se jedan bazen sa aerobnim i anaerobnim zonama. U nastavku je prikazana šema bazena za proces nitrifikacije - denitrifikacije.

Slika 84 - Karusel bazen za nitrifikaciju-denitrifikaciju sa mamut rotorima



Usvojena je razmera zapremine dela bazena za denitrifikaciju (V_{DN}) prema ukupnoj zapremini bazena (V_{NB}) koja iznosi $V_{DN}/V_{NB}=0.5$

Potrebna zapremina bazena za nitrifikaciju / denitrifikaciju zavisi od organskog i zapreminskog opterećenja bazena, a određuje se iz izraza:

$$V_{NB} \text{ (m}^3\text{)} = \frac{B_{NT}}{B_v} = \frac{B_{NT}}{B_{SM} \cdot SM_{BB}}$$

Organsko opterećeno bazena za nitrifikaciju / denitrifikaciju predstavlja izlazno organsko opterećenje iz procesa sekundarne (biološke) obrade, odnosno organsko opterećenje tretirane otpadne vode posle naknadnog taložnika - C_{NT} (kg BPK₅/m³).

Organsko opterećenje vode u naknadnom taložniku - B_{NT} (kg BPK₅ na dan) se dobija iz koncentracije organskog opterećenja bazena za nitrifikaciju / denitrifikaciju - C_{NT} (kg BPK₅/m³) i dnevnog hidrauličkog kapaciteta Q_{sr}^d (m³ na dan), prema izrazu:

$$B_{NT} \text{ (kgBPK}_5 \text{ na dan)} = C_{NT} \cdot Q_{sr}^d = 25 \cdot 10^{-3} \cdot 28000 = 700$$

Zapreminsko opterećenje bazena za nitrifikaciju / denitrifikaciju - B_v zavisi od opterećenja mase mulja organskom materijom - B_{SM} (kgBPK₅/kgSM na dan) i potrebne koncentracije suve materije mulja u bazenu za nitrifikaciju / denitrifikaciju - SM_{BB} (kgSM/m³):

$$B_v \text{ (kgBPK}_5 \text{ / m}^3 \text{ na dan)} = B_{SM} \cdot SM_{BB}$$

Opterećenje mase mulja - B_{SM} (kgBPK₅/kgSM na dan) zavisi od prostornog opterećenja nitrifikacionog bazena - B_{NB} (kgBPK₅/m³ na dan) i koncentracije suve materije u mulju - C_{SM} (kgSM/m³).

Za nisko organsko opterećenje bazena za nitrifikaciju/denitrifikaciju od 25 gBPK₅/m³ može se usvojiti koncentracija suve materije mulja u bazenu od:

$$SM_{BB} = 1.0 \text{ kgSM/m}^3$$

Za postojeće stanje ulaznih parametara u nitrifikacioni bazen su prethodno usvojene i projektovani sledeće vrednosti:

$$B_{NB} = 1.0 \text{ kgBPK}_5/\text{m}^3 \text{ na dan}$$

$$C_{SM} = 3.3 \text{ kgSM/m}^3$$

Zamenom datih vrednosti u navedenim relacijama dobija se:

$$B_{SM} \text{ (kgBPK}_5 \text{ / kgSM na dan)} = \frac{B_{NB}}{C_{SM}} = \frac{1.0}{3.3} = 0.3$$

$$B_v \text{ (kgBPK}_5 \text{ / m}^3 \text{ na dan)} = B_{SM} \cdot SM_{BB} = 0.3 \cdot 1.0 = 0.3$$

Tako se ukupna zapremina bazena dobija iz sledećeg izraza:

$$V_{NB} \text{ (m}^3 \text{)} = \frac{B_{NB}}{B_v} = \frac{700}{0.3} = 2333.34$$

Usvaja se ukupna zapremina bazena za nitrifikaciju / denitrifikaciju od $V_{NB} = 2400 \text{ m}^3$.

Specifične potrošnja kiseonika za nitrifikaciju / denitrifikaciju koja se definiše kao $O_{spec} = 2.5 \text{ kg O}_2 / \text{kg BPK}_5$. Potrebna količina kiseonika za nitrifikaciju /denitrifikaciju OC (kgO₂/dan) se određuje preko specifične potrošnje kiseonika O_{spec} i ukupnog dnevnog organskog opterećenja bazena za nitrifikaciju / denitrifikaciju - B_{NT} (kg BPK₅ na dan), prema relaciji:

$$OC \text{ (kgO}_2 \text{ / h)} = \frac{B_{NT} \cdot O_{spec}}{24} = \frac{700 \cdot 2.5}{24} = 72.92$$

Usvaja se potrošnja kiseonika za bazen za nitrifikaciju / denitrifikaciju od $OC = 73 \text{ kgO}_2/\text{h}$.

Za unos kiseonika će se koristiti mamut rotori. Za kapacitet unosa 7 kg O_2 na čas po dužnom metru aeracionog rotora (mamut rotora) pri uronu od 22.5 cm, usvajaju se dva mamut rotora dužine $3 \times 4.5 \text{ m} = 13.5 \text{ m}$ projektovanog kapaciteta $13.5 \text{ (m)} \cdot 7 \text{ (kg O}_2 \text{ po m na čas)} = 94.5 \text{ (kg O}_2 \text{ na čas)}$.

Za traženu potrošnju kiseonika za nitrifikaciju $OC = 73 \text{ kgO}_2/\text{h}$ potreban uron lopatica mamut rotora iznosi 17 cm.

Završna obrada hlorisanjem i odstojavanje u laguni

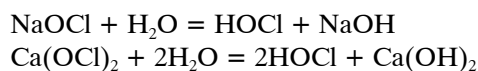
Pre ispuštanja prečišćene otpadne vode u recipijent mora se izvršiti njena dezinfekcija hlorisanjem. Obzirom na izabrani način prečišćavanja, hlorisanje će se vršiti u količini 5-10 mg Cl₂/l vode, pri čemu se mora voditi računa da na ispustu u recipijent koncentracija hlora u prečišćenoj vodi bude u dozvoljenim granicama za konkretni recipijent.

Zbog eventualno (uobičajeno) malog kapaciteta prijemnika mora se raditi dezinfekcija, najbolje mehanizmom oksidacije hlorom preko prelomne tačke. Korišćenje gasovitog hlora se za otvoreni bazen u konkretnoj situaciji ne preporučuje iz sledećih razloga:

- velika investicija u građevinske radove za hlornu stanicu
- visoki troškovi merno-regulacione tehnike u hlornoj stanici
- visoki troškovi u opremu za doziranje gasovitog hlora u odnosu na protok otpadne vode
- izdvajanje veće količine gasovitog hlora u okolnu sredinu usled niskog stepena iskorišćenja gasovitog hlora u otvorenom sistemu, što je dodatni ekološki problem
- viši stepen rizika za rad sa bocama pod pritiskom za tečni hlor
- sekundarne reakcije gasovitog hlora sa supstancama sadržanim u otpadnoj vodi pri čemu nastaju ekološki opasne materije po živi svet (trihalometani, hloramini, hlorfenoli idr.)
- visok stepen rezidualnog hlora u otpadnoj vodi i potreba za dehlorisanjem otpadne vode (postupak sa SO₂ ili aktivnim ugljem), što iziskuje postavljanje novog postrojenja i utrošak repromaterijala (hemikalija)

Mesto hlora bolje je koristiti Na-hipohlorit (NaOCl), a ako ima i fosfora u efluentu, onda je najbolje koristiti Ca-hipohlorit (Ca(OCl)₂-kaporit).

Hipohloriti reaguju istim mehanizmom kao i gasoviti hlor, oslobađanjem hipohloraste kiseline koja je dezinfekciono sredstvo.



Na-hipohlorit kao posledicu reakcije ima uvećani salinitet otpadne vode (Na-soli, koji su potpuno rastvorne), što u malim recipijentima mogu imati posledice po floru i faunu recipijenta.

Kaporit kao posledicu reakcije ima uvećanje bazne tvrdoće u otpadnoj vodi, koja usled prisustva slobodne ugljene kiseline u vodi (CO₂) prelazi u karbonatnu tvrdoću. Upotrebom kaporita dolazi do taloženja fosfornih materija u otpadnoj vodi u obliku Ca-soli, što umanjuje mogućnost eutrofikacije (bujanje flore) i uvećavanje mikrobiološke kontaminacije (nagli razvoj prisutnih mikroorganizama) u recipijentu.

Doziranje oba hipohlorita preko prelomne tačke uklanjaju se i zaostale azotne materije u otpadnoj vodi (denitrifikacija), tako da predstavljaju korektivni element za prethodni proces.

Dezinfekcija hlorom zahteva određeno vreme kontakta između vode i hlora (obično 30 min).

Potrebno vreme retenzije za proces hlorisanja kaporitom iznosi oko 30 min. Pošto je uloga kaporita u ovom procesu značajnija (uklanjanje fosfora, završna denitrifikacija) usvojeno vreme retenzije kaporita u bazenu treba biti značajno veće.

Poseban aspekt predstavlja vreme za prirodno dehlorisanje vode iz bazena (degaziranje viška hlora iz otvorenog bazena prirodnim mehanizmom), čime se štedi na dodatnim procesima hemijskog dehlorisanja. Ukupno vreme retenzije kaporita u bazenu se usvaja minimalno 12^h, što obezbeđuje da se svi navedeni procesi izvrše u zadovoljavajućem obimu.

Potrebna minimalna zapremina bazena za dezinfekciju kaporitom iznosi:

$$V_{BD} (\text{m}^3) = Q_{\max}^d \cdot t_{\min} = 28000 \cdot 0.5 = 14000$$

Usvaja se bazen zapremine $V_{BD} = 14\,400 \text{ m}^3$. Za usvojenu dubinu vode od $h=2 \text{ m}$, biće potrebna površina bazena:

$$P_{BD} (\text{m}^2) = \frac{V_{BD}}{h} = \frac{14400}{2} = 7200$$

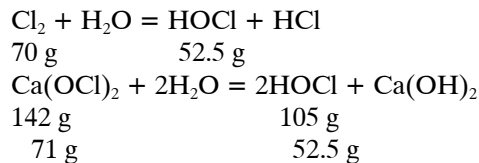
Za usvojenu dužinu bazena $L=120 \text{ m}$ i odnos strana 1:2 biće širina bazena:

$$b(\text{m}) = \frac{120}{2} = 60$$

Vreme zadržavanja u bazenu za maksimalni kapacitet će biti:

$$t(\text{h}) = \frac{V_B}{Q_{\max}^d} \cdot 24 = \frac{14400}{28000} \cdot 24 = 12.34$$

Potrošnja kaporita za hlorisanje je skoro ekvivalentna potrošnji gasovitog hlora za hlorisanje, što sledi iz masenih bilansa reakcija:



Kao što sledi iz masenog odnosa, potreba za gasovitim hlorom od 10 mg/l je ekvivalentna potrebi za Ca-hipohloritom (10 g/m^3), za dobijanje iste količine hipohloraste kiseline.

Kaporit je složena smeša koja sadrži oko 60% aktivnog hlora, tako da je potrošnja kaporita u odnosu na potrošnju hlora 1.67:1.0, pa je za $a=10 \text{ g/m}^3$ Ca-hipohlorita potrebno $a_1=16.67 \text{ g/m}^3$.

Srednja dnevna potrošnja kaporita iznosi:

$$G_{\text{KAP}}^d (\text{kg na dan}) = a_1 \cdot Q_{\text{sr}}^d = 0.1667 \cdot 28\,000 = 4\,667.6$$

Usvaja se srednja dnevna potrošnja kaporita za dezinfekciju od $4\,700 \text{ kg na dan}$.

Potrebna zapremina 10% rastvora kaporita za dezinfekciju 1 m^3 otpadne vode za 1 dan iznosi:

$$Q_{\text{KAP}}^d (\text{l na dan}) = G_{\text{KAP}}^d \cdot 10 = 4\,700 \cdot 10 = 47\,000$$

Usvaja se srednja dnevna potrošnja kaporita za dezinfekciju od 47 m^3 10% rastvora kaporita na dan.

Kaporit se dodaje u kanal ispred bazena u obliku rastvora hlornog kreča. Maksimalna satna potrošnja kaporita iznosi:

$$G_{\text{KAP}}^h (\text{kg/h}) = a \cdot Q_{\max}^h = 0.1667 \cdot 1\,560 = 260$$

Usvaja se maksimalna satna potrošnja hlornog kreča od $G_{KAP}^h = 260 \text{ kg/h}$

Maksimalna zapremina 10% rastvora kaporita za dezinfekciju 1 m^3 otpadne vode za 1 sat iznosi:

$$Q_{KAP}^{h*} (\text{l/h}) = G_{KAP}^h \cdot 10 = 260 \cdot 10 = 2600$$

Usvaja se maksimalna satna potrošnja hlornog kreča od $Q_{KAP}^h = 2.6 \text{ m}^3/\text{h}$

Hlorisanje kaporitom se može vršiti dozirnomo pumpom u odnosu na izmereni protok, ili odgovarajućim hlorinatorom.

Za hlorisanje otpadne vode predviđa se hidrohlorinator MN-2, pri čemu se hlorisanje vrši gravitacionim putem. Kao sredstvo za hlorisanje upotrebljavaće se kaporit (60% kalcijum hipohlorit, $\text{Ca}(\text{OCl})_2$ koji se proizvodi u koncentraciji 10-12 % aktivnog hlora).

Napomena: Pošto kalcijum hipohlorit normalno slabi 1-2 % mesečno, usled razlaganja labilnog hlornog jedinjenja, to se ne preporučuje držanje veće zalihe od tromesečne potrošnje.

Proračun na osnovu koga će se izvršiti usvajanje rezervoara hidrohlorinatora radiće se za najnepovoljniji slučaj tj. Q_{\max}^h .

Maksimalna količina 10% rastvora kaporita za 1 smenu iznosi:

$$Q_{KAP} (\text{m}^3) = Q_{KAP}^h \cdot t_n = 2.6 \cdot 8 = 20.8$$

$$t_n = 8^h \text{ -radni ciklus}$$

Iz kataloga se usvajaju dva hidrohlorinatora "MN-2", sa rezervoarom zapremine $3 \times 20000 \text{ l}$, za količinu 60 m^3 rastvora kaporita (maksimalna dnevna količina 10% rastvora kaporita). Radi pogonske bezbednosti u praksi je bolje imati dva uređaja za hlorisanje koji se koriste naizmenično ili pak samo u slučaju ako dođe do defekata na jednom uređaju.

Navedena količina od 60 m^3 zadovoljava 32^h rada pri srednje dnevnoj potrošnji.

Kako se dezinfekcija uobičajeno radi povremeno, na bazi pokazatelja iz analiza, pod pretpostavkom da se dezinfekcija maksimalno vrši oko 6^h na dan, zapremina rezervoara za rastvor kaporita bi trebala da efektivno pokrije najmanje oko nedelju dana rada na dezinfekciji otpadne vode na postrojenju.

Za sedmodnevnu dezinfekciju na postrojenju, pod navedenim režimom rada, proračunata srednja dnevna količina od 4700 kg biće dovoljna za 6-7 dana rada.

Da li se hlorisanje vrši ispravno, odnosno da li voda sadrži dovoljnu količinu hlora, za sprovođenje uspešne dezinfekcije i zaštite od sekundarnog zagađenja, utvrđuje se merenjem hlorne koncentracije u vodi. Ova analiza se može vršiti u laboratoriji, ako ista stoji na raspolaganju. Za pogon je podesna jednostavna i brza metoda određivanja hlora pomoću hlor komparatora.

5.3.2. Linija obrade mulja

Mulj koji se sakuplja u primarnom taložniku sastoji se od istaloženog primarnog mulja iz sirovih otpadnih voda i viška aktivnog mulja iz sekundarnog taložnika biološkog dela postrojenja.

Ova mešavina sadrži organske supstance (60% - 80%) iz grupa ugljenih hidrata, masti i belančevina.

Obzirom da se u sirovom mulju nalaze u velikom broju razni mikroorganizmi to bi se u spontanom procesu bez dalje obrade uspostavljali spontani anaerobni mikrobiološki procesi. Ti procesi bi doveli do procesa vrenja u mulju koji nisu kontrolisani, što bi za posledicu imalo pojavu neugodnih mirisa na postrojenju, uz istovremeno pogoršavanje kvaliteta ceđenja odnosno sposobnosti dehidratacije mulja.

Da bi se sprečio neugodan miris na postrojenju i omogućilo nesmetano ceđenje mulja neophodno je izvršiti kontrolisanu stabilizaciju istog što se može postići na tri načina:

- fizičkim postupcima
- hemijskim postupcima
- biološkom razgradnjom

U fizičke postupke spada termička obrada mulja - pasterizacija, pri kojoj se vrši termičko uništavanje mikroorganizama, kao i termička koagulacija koloidnih organskih materija u mulju, usled čega organske materije bolje talože i dehidratišu, ili sušenjem, pri čemu se sadržaj vode u mulju veštačkim isušivanjem spusti ispod 30%.

Hemijskim postupcima se menjaju parametri sredine, pre svega pH, kao i sadržaj i koncentracije supstanci u mulju, koje blokiraju ćelijski metabolizam mikroorganizama, što predstavlja hemijsko uništavanje mikroorganizama, a takođe i izazivaju hemijsku koagulaciju koloidnih organskih materija u mulju. To se postiže na primer dodavanjem suspenzije kreča, tako da se pH mulja podigne iznad 10.

Međutim, mulj tretiran hemijskim postupcima nije trajno stabilizovan, jer eventualnim padom pH vrednosti mulja na neutralnu vrednost, u kasnijim fazama obrade ili skladištenja, ponovo se uspostavljaju neželjeni procesi vrenja koji su praćeni neugodnim mirisom i ostalim nepoželjnim propratnim pojavama. Ovim postupkom se ne postiže konačna stabilizacija mulja.

Treći postupak stabilizacije mulja je biološka stabilizacija, pri čemu se u navedenom procesu biološki razgradive organske supstance u mulju do te mere smanje, da mulj više ne predstavlja pogodno "hranjivo tlo", tako da se mikrobiološki procesi samo još lagano i bez smrada mogu odvijati. Struktura mulja tada omogućava, naročito posle razgradnje koloida (belančevina) relativno lagano ceđenje. U ovom slučaju se može govoriti o trajnoj stabilizaciji mulja.

Kod biološke stabilizacije mulja mikroorganizmima se u kontrolisanim procesima razmene materija smanjuje organski udeo sirovog mulja do željenog stepena stabilizacije. Ako se pri tome uspostavi proces anaerobne razmene materija, tada se vrši proces "truljenja". Ukoliko se procesi razgradnje odvijaju aerobno, uz dovođenje kiseonika iz vazduha, tada se vrši aerobna razgradnja mulja.

Da bi se proces anaerobne razgradnje sirovog mulja i viška mulja na postrojenju sproveo neophodno je predvideti određene objekte.

Tu su pre svega:

- primarni ugušćivač
- reaktor za anaerobno truljenje (digestori)
- sekundarni ugušćivač
- postrojenje za dehidrataciju stabiliziranog mulja, uključujući i pripremu hemikalija
- prateći objekti u koje ulaze pumpne stanice, rezervoar za gas, kotlarnica i sl.

– **Primarni ugušćivač**

Primarni ugušćivač je objekat na liniji obrade mulja koji ima ulogu da ugusti mulj i time delimično smanji gabarite građevinskih objekata i opreme u naknadnoj obradi mulja koja sledi iza njega.

Sirovi mulj i višak mulja iz mehaničko-biološkog dela postrojenja se povremeno evakuše potopljenim muljnim pumpama u količini od $Q = 20 \text{ l/s}$, sa visinom dizanja od $H = 5 \text{ m}$ VS.

Usvajene su dve pumpe od kojih je jedna radna i jedna rezervna. Pumpe se nalaze pored primarnog taložnika.

Za dalju obradu izdvojenog mulja iz otpadne vode koncentrisanje čvrstih materija predstavlja važnu ekonomsku meru pošto je stepen delovanja i specifični učinak procesa anaerobne stabilizacije i ceđenja mulja viši što je veći sadržaj čvrstih materija u mulju koji se obrađuje. Iz tog razloga i na ovom postrojenju se teži za što većim sadržajem čvrstih materija u mulju.

U primarnom ugušćivaču se vrši statičko gravitaciono ugušćivanje mulja pri čemu se u gornjem delu ugušćivača obrazuje nadmuljna voda, iz koje se vrši slobodno taloženje čvrstih čestica ili pahuljica mulja. Dovod mulja se vrši u centralnu zonu bazena. Mulj koji se taloži ima dobru sposobnost tečenja i raspoređuje se preko dna bazena. Nadmuljna voda iz mulja se odvodi preko plivajućeg preliva, a ugušćeni mulj se odvodi u pumpnu stanicu za prebacivanje mulja u trulište. Da bi se ugušćeni mulj sakupio u levak ugrađeni su štitovi kao kod taložnika koji mulj lagano potiskuju u levak.

Dno ugušćivača je blago u padu od ivice prema sredini, kao kod okruglih taložnika.

Pogon zgrtača je centralni. Zgrtači su kombinovani sa rešetkastim šipkama, čiji je zadatak da razaraju stvrdnjavanja u slojevima mulja, oslobađaju gasne mehuriće i stvaraju slobodan put za odvajanje muljne vode. Na ovaj način se postiže jače ugušćivanje.

Dnevna količina mešanog mulja, koju je neophodno evakuisati iz mehaničko-biološkog dela postrojenja, može se izračunati na sledeći način:

- specifična produkcija mulja na postrojenju koga je potrebno naknadno stabilizovati je $q_{\text{spec.}} = 1.85 \text{ l/ES}$ na dan = $0.00185 \text{ m}^3/\text{ES}$ na dan
- projektovani kapacitet postrojenja, izraženo preko ekvivalentnog broja stanovnika iznosi $100\,000 \text{ ES}$

Količina mulja koja će se proizvesti na postrojenju u primarnim taložnicima iznosi:

$$Q_M^d (\text{m}^3 \text{ na dan}) = N_{\text{ES}} \cdot q_{\text{spec.}} = 100000 \cdot 0.00185 = 185$$

Koncentracija suve materije u mulju je $C_{\text{SM}} = 3\%$, odnosno 30 kg SM/m^3 .

Ukupna količina suve materije u sirovom mešanom mulju je:

$$G_{\text{SM}} (\text{kg SM na dan}) = Q_M^d \cdot C_{\text{SM}} = 185 \cdot 30 = 5\,550$$

Usvajajući površinsko opterećenje primarnog ugušćivača od $R_{\text{FM}} = 4.5 \text{ kg SM/m}^2$ na čas, dobija se potrebna površina ugušćivača iz relacije:

$$P_{\text{PU}} (\text{m}^2) = \frac{G_{\text{SM}}}{R_{\text{FM}} \cdot 24} = \frac{5550}{24 \cdot 4.5} = 51.39$$

Iz ovog proizlazi da je prečnik primarnog ugušćivača $D = 8.1 \text{ m}$.

Usvaja se primarni ugušćivač prečnika sledećih karakteristika:

— prečnik:	$D_{PU} = 8.5 \text{ m}$
— dubine:	$H_{PU} = 4.0 \text{ m}$
— površina:	$P_{PU} = 56.75 \text{ m}^2$
— zapremina:	$V_{PU} = 227 \text{ m}^3$.

Površinsko opterećenje primarnog ugušćivača za datu površinu će iznositi:

$$R_{FM} (\text{kgSM} / \text{m}^2 \cdot \text{h}) = \frac{G_{SM}}{P_{PU} \cdot 24} = \frac{5550}{56.75 \cdot 24} = 4.08$$

Vreme zadržavanja mešanog mulja u ugušćivaču isnosi:

$$t_2 (\text{dan}) = \frac{V_{PU}}{Q_M^d} = \frac{227}{185} = 1.23$$

Koncentracija suve materije mešanog mulja koji dolazi u ugušćivač je $C_{m1} = 3\%$. Nakon ugušćivanja u ugušćivaču koncentracija suve materije se kreće između $C_{m2} = 5 - 6\%$.

Usvaja se da će koncentracija mulja iznositi $C_{m3} = 5.5\%$.

Nakon ugušćivanja dobiće se sledeća količina ugušćenog mulja:

$$Q_{UM}^d (\text{m}^3 \text{ na dan}) = Q_M^d \cdot \frac{C_{m1}}{C_{m3}} = 185 \cdot \frac{3}{5.5} = 100.91$$

Prema tome, količina nadmuljne vode koja će se svakodnevno evakuisati iz ugušćivača i nazad vraćati u proces iznosi :

$$Q_{MV}^d (\text{m}^3 \text{ na dan}) = Q_M^d - Q_{UM}^d = 185 - 100.91 = 84.09$$

Iz ugušćivača, ugušćeni mulj se povremeno u toku dana ispušta u crpni bazen odakle se pumpom transportuje na dalju obradu u trulišta.

Dinamika ispuštanja ugušćenog mešanog mulja i njegova dalja obrada u trulištu će se utvrditi u samom pogonu zavisno od pogonskih uslova.

– Anaerobna obrada mulja

Anaerobni postupak obrade mulja predstavlja postupak tretmana otpadnog mulja pomoću mikroorganizama u odsustvu kiseonika, pri čemu se oko 80% hemijski vezane energije u biorazgradljivim supstancama prevode u bio gas.

Anaerobni postupak obrade mulja je energetski mnogo povoljniji od aerobnog postupka, pošto se osim ušteda na unetoj energiji (pre svega za prenos kiseonika i kinetiku procesa), kao produkt dobija i bio gas koji se može koristiti kao energent.

Anaerobni postupak obrade mulja je podobniji od aerobnog i stoga što nije ograničen organskim opterećenjem otpadnih materijala. Aerobni postupci su ograničeni na nivou potreba za kiseonikom od 400 - 600 mgO₂/l na čas, što je posledica brzine prenosa kiseonika, dok anaerobni procesi mogu prerađivati i jako visoka opterećenja, koja ponekad mogu dostizati i do 30 000 mgO₂/l na čas. Kako su otpadni muljevi visoko opterećeni organskim sadržajem, to su

anaerobni postupci mnogo povoljniji od aerobnih po pitanju kriterijuma organskog opterećenja za tretman otpadnih muljeva, primarnog i izreagovalog aktivnog mulja, iz postupaka obrade kanalizacionih voda.

Prinos mase kod anaerobnih postupaka (nova bakterijska masa) je daleko niži od prinosa mase kod aerobnih postupaka, pa se aktivni mulj ne mora dalje tretirati i stabilizovati, te je i sa tog stanovišta anaerobni postupak povoljniji od aerobnog za tretman otpadnih muljeva.

Nedostatak anaerobnih postupaka u odnosu na aerobne, koji se pre svega ogleda u složenijim i sporijim reakcijama tokom procesa, za posledicu ima veće gabarite uređaja u sistemu od uređaja kod aerobnih procesa.

Složenost reakcija kod anaerobnih postupaka se pre svega ogleda u užim granicama fizičkih i hemijskih parametara reakcija (temperatura, pH i drugo), tako da su upravljanje i regulacija anaerobnih procesa mnogo složeniji od upravljanja i regulacije procesa kod aerobnih procesa.

Navedene prednosti anaerobnog postupka su mnogostruko značajnije od navedenih nedostataka anaerobnih procesa u odnosu na aerobne procese, tako da su, globalno gledano, anaerobni postupci tretmana mulja kako tehnološki, tako i ekonomski značajno povoljniji od aerobnih postupaka.

Sušтина anaerobnih procesa se ogleda u trostepenoj razgradnji organskih materija:

- **Prvi stepen postupka** predstavlja ekstracelularni proces pripreme biodegreabilnih supstanci za procese vrenja.
- **Drugi stepen postupka** predstavlja intracelularno bakterijsko kiselo vrenje.
- **Treći stepen postupka** predstavlja intracelularno bakterijsko metansko vrenje.

Krajnji produkt anaerobne razgradnje je bio gas, koji je u osnovi gasna smeša metana i ugljen dioksida.

Navedeni postupci se odvijaju pod dejstvom mikroorganizama, kako u samim ćelijama mikroorganizama, tako i van ćelija u okolnoj vodi.

U odnosu na posmatrane celine, odnosno operacije u postupcima, anaerobni tretman se može svrstati u V fazu:

I faza - Faza ekstracelularne enzimske razgradnje

U prvoj fazi anaerobnog postupka se složene organske materije (visokomolekularne supstance, polisaharidi, belančevine masti i druge) razgrađuju na sastavne komponente (niskomolekularne), tako što se u vodi nerastvorne materije, hidrolizom, izazvanom ekstracelularnim enzimima koje izlučuju mikroorganizmi, razlažu i prevode u vodeni rastvor. Ova faza se naziva najčešće **fazom utečnjavanja mulja**.

II faza - Faza unošenja rastvorenih organskih supstanci u ćeliju

U drugoj fazi anaerobnog tretmana se rastvorne niskomolekularne supstance, kao i prethodno razgrađene i rastvorene visokomolekularne supstance, transportuju kroz polupropustljivu membranu ćelija mikroorganizama unutar ćelija. Ova faza se naziva najčešće **fazom transporta hranljivih materija**.

III faza - Faza intracelularne enzimske razgradnje

U trećoj fazi anaerobnog tretmana se, unete rastvorene organske materije, unutar ćelija, razlažu na isparljive organske kiseline, alkohole i slična organska jedinjenja, uz oslobađanje određene količine gasova ugljen dioksida i vodonika, pod dejstvom enzima - "kiselinskih" bakterija (bakterije kiselinskog vrenja). Ova faza se najčešće naziva **faza kiselinskog vrenja**.

IV faza - Faza finalne enzimske razgradnje

U četvrtoj, poslednjoj fazi anaerobnog postupka, produkti kiselinskog vrenja, lako isparljive organske materije, mahom organske kiseline, se dejstvom metanskih bakterija razlažu na: metan, ugljen dioksid i druge gasovite komponente u manjem obimu. Ova faza se najčešće naziva **faza metanskog vrenja**.

V faza - Faza izluživanja nerazgrađenih ostataka

U petoj, poslednjoj fazi anaerobnog postupka, nerazgrađene supstance, kao i neki, mahom čvrsti produkti razgradnje, se izlučuju iz tela mikroorganizama i talože u sloju mikroorganizama, u muljnim pahuljicama, čime se uvećava masa muljnih pahuljica. Ova faza se najčešće naziva **faza mineralizacije mulja**.

Kod navedenih postupaka, odnosno faza anaerobnog postupka, najkritičniji je prelaz između kiselinskog i metanskog vrenja. Proces kiselinskog vrenja i metanskog vrenja se međusobno jako razlikuju, kako po vrsti i metabolizmu bakterija, tako pre svega po faktorima koji utiču na proces vrenja, a najviše po pH i temperaturi procesa.

Niži pH, koji je posledica kiselinskog vrenja, deluje inhibitorski na postupak metanskog vrenja, a veći padovi pH u toku kiselinskog vrenja mogu potpuno uništiti metanske bakterije.

Izvođenje ovog složenog postupka dvostepenog procesa vrenja u jednom reaktoru je skopčano sa dosta značajnih poteškoća i često dolazi do poremećaja parametara u sistemu, koji za posledicu najčešće imaju stradanje metanskih bakterija, čime se proces prekida. Mnogo je sigurnije proces raditi u dve faze, tako što će se kiselinsko i metansko vrenje izvoditi u odvojenim sudovima pod različitim uslovima, čime se postiže optimum za aktivnosti obe vrste mikroorganizama i proces je neuporedivo stabilniji i lakši za regulaciju.

Stoga je bolje predvideti dvostepenu digestiju u grejanim trulištima pri čemu se mulj greje do temperature od oko $t \approx 35^{\circ}\text{C}$. Pod ovim temperaturnim režimom, sa maksimalnom oscilacijom temperature od $1-2^{\circ}\text{C}$, ostvaruje se mezofilni proces čime se ubrzava metansko vrenje, a time i količina izdvojenog gasa.

Anaerobno metansko vrenje izaziva znatno smanjenje volumena mulja, tako da se približno jedna polovina organskog opterećenja koja je sadržana u mulju tom prilikom razgradi. U procesu anaerobne razgradnje organskih materija stvara se trulišni gas koji je po svom uobičajenom sastavu gasna smeša metana cca 60-70% i ugljen dioksida cca 20-30%, sa sadržajem niza drugih gasovitih produkata koji su u znatno manjoj količini. Odnos metana i ugljen dioksida varira u zavisnosti od tipa reaktora, a značajnije promene u ovom odnosu tokom rada reaktora ukazuju da je došlo do poremećaja u radu reaktora.

Da bi se proces razlaganja i stabilizacije mulja uspešno odvijao neophodno je pored određene temperature ostvariti što bolji kontakt mulja u digestoru, što se postiže mešanjem sadržaja trulišta cirkulacionim pumpama. Na taj način se u trulištu održava turbulencija, a time i obnavljanje kontaktnih površina.

U trulištu se dovodi određena količina sirovog mulja i mulj iz trulišta u odnosu 1:2 ili 1:1.

Na taj način se postiže pelcovanje novog mulja metanskim bakterijama tako da sirovi mulj koji dolazi u trulište ne pravi udar i zastoj u procesu truljenja čime se takođe postiže predgrevanje sirovog mulja. Mešanje ove dve vrste mulja se ostvaruje u uređaju koji ima oblik račve i naziva se injektorski mešač posle čega pomešani mulj prolazi kroz protivstrujne toplotne izmenjivače gde se indirektno zagreje pomoću tople vode do određene temperature i kao takav ulazi u trulište.

Cirkulacioni (injektorski) mulj se uzima iz prvog trulišta sa raznih nivoa iz vrha ili sredine trulišta, zavisno od načina vođenja pogona.

Istovremeno se punjenjem trulišta I stepena (kiselinsko vrenje) određena količina mulja iz trulišta I stepena potiskuje iz sredine u trulište II stepena (metansko vrenje), takođe u sredini posude. Za vreme prepumpavanja zagrejanog mulja u trulište I i potiskivanja dela mulja iz trulišta I u trulište II, istovremeno se potiskuje i odvodi iz trulišta II naizmenično istruleli mulj i mutna voda.

Mulj se odvodi u naknadni ugušćivač, a mutna voda nazad u proces prečišćavanja. Evakuacija istrulelog mulja ili mutne vode se vrši naizmenično i zavisno od odnosa u trulištu evakuise se dva dana mutna voda, a jedan dan istruleli mulj. Dinamika ispuštanja navedenih medija će određivati odgovorno osoblje na postrojenju zavisno od pogonskih uslova na postrojenju.

U periodu niskih temperatura, a u cilju održavanja konstantne temperature u trulištu, nakon završetka procesa punjenja trulišta I svežim muljem neophodno je produžiti cirkulaciju trulog mulja iz trulišta I. Navedeni mulj prolazi isti put kao i sirovi mulj, injektovski miješač i protivstrujni izmenjivač toplote, pri čemu se cirkulacioni mulj zagreje i tu toplotu prenosi na mulj u trulištu. Na taj način se održava potrebna temperatura trulišta jer u slučaju sniženja temperature dolazi do znatnih poremećaja u procesu truljenja, odnosno anaerobne stabilizacije mulja.

Cirkulacija mulja iz trulišta se vrši cirkulacionim pumpama toliko dugo koliko to uslovljavaju vremenske prilike - spoljna temperatura vazduha, odnosno toliko koliko zahteva konstantno držanje temperature trulišta.

Na ovaj način se takođe postiže delimično mešanje sadržaja trulišta.

Za intenzivno mešanje mulja u trulištu I i II koristi se gas koji se produkuje u samom trulištu.

Naime, smeša gasa (CH_4 i CO_2) koji se produkuje u trulištu se prihvata u peseban tretman preko šljunčanih filtera komprimira i utiskuje preko specijalnih distributera u trulišta I i II.

Utiskivanjem gasa u trulišta i njegovim kretanjem prema vrhu levka trulišta, dolazi do intenzivnog mešanja, a time i do ubrzanja procesa truljenja.

U toku navedenog procesa uduvavanja komprimiranog gasa dolazi do izdvajanja specifično lakšeg materijala na površini trulišta, tako da se formira plivajuća kora koja je nepoželjna iz više razloga.

Koru čine pre svega: dlake, ostaci drveta, masti i slično i dužim stajanjem teže da formiraju kompaktni plivajući pokrivač. Da bi se sprečilo formiranje plivajuće kore predviđene su u svakom trulištu specijalne mešalice sa spiralnim zavojsnicama. Mešalice su tako konstruisane da pri svom radu plivajuću masu potiskuju ka unutrašnjosti trulišta i na taj način razaraju odnosno sprečavaju stvaranje kompaktne plivajuće kore.

Trulišta su tako konstruisana da se iz njih povremeno može uklanjati plivajuća kora. Oprema oba trulišta je identična i simetrično montirana tako da oba trulišta mogu raditi u nizu paralelno ili da samo radi jedno trulište dok je drugo u remontu.

Ukoliko postrojenje za stabilizaciju mulja radi u dva stepena, što je i predlog projektanta, tada se u I stepenu anaerobne razgradnje razgrađuju visokomolekularne organske materije fakultativnim anaerobnim bakterijama u niže masne kiseline (sirćetnu i propionsku kiselinu), alkohol, vodonik i ugljendioksid. Složene visokomolekulske organske materije se ekstracelularnim enzimima prethodno prevode u otopljenu formu.

Otuda se ovaj stepen razgradnje naziva i "kiselno vrenje", "kiselno truljenje - vodonikom" ili "faza prevođenja mulja u tečnu formu". Za ovaj proces u trulište I dospevaju sa sirovim muljem, u velikom broju razne vrste bakterija.

U II stepenu, metanske bakterije dalje prerađuju formirane međuproizvode u metan, amonijak i ugljen dioksid. Nasuprot mnogim različitim vrstama bakterija, koje vrše prvi stepen razgradnje, postoji ograničeni broj vrsta bakterija koje su u stanju da dalje obrađuju međuproizvode prvog stepena u metan.

Takozvane metanske bakterije imaju malu brzinu rašćenja i njihov opstanak i brzina rašćenja zavise od više različitih faktora, kao što su:

- pH - vrednost
- temperatura
- sadržaj organskih kiselina
- sadržaj azota
- sadržaj fosfora
- sadržaj otrovnih materija.

PH je parametar od koga bitno zavisi kvalitet metabolizma metanskih bakterija i optimalno treba da se kreće u granicama od 6 - 8.5. U prvoj fazi procesa nastaju organske kiseline koje jako obaraju pH, čak i do vrednosti 3, pa se proces mora voditi sa puferom. Kako je od svih organskih kiselina najveća koncentracija sirćetne kiseline, najbolje je raditi sa acetatnim puferom (smeša NH_4HCO_3 i CH_3COOH), koji neutrališe višak kiseline amonijumhidrokarbonatom, a višak alkalija kiselinom. Od značaja za određivanje količine pufera u sistemu je pre svega odnos ugljen dioksida i alkaliteta (karbonata) u sistemu, odnosno ravnoteža karbonati/bikarbonati.

Temperatura je takođe bitan faktor za dejstvo metanskih bakterija pa se druga faza mora naknadno grejati, odnosno mora se održavati što konstantnija temperatura u reaktoru u granicama od 33-37°C, što se postiže grajanjem mulja u recirkulaciji provođenjem kroz grejače.

Proces truljenja se odvija optimalno samo u slučaju ako su brzine razgradnje u oba stepena približno jednake. Proces truljenja se odvija najbrže pri povećanoj temperaturi i stalnom mešanju sadržine trulišta.

Kao što je napred navedeno usvojen je mezofilni tip trulišta sa dvostepenom anaerobnom digestijom uz grejanje sadržaja trulišta na konstantnu temperaturu od $t = 35^\circ\text{C}$.

Osnovni podaci za dimenzionisanje trulišta su:

- Zapremina sirovog mulja koji dolazi iz primarnog ugušćivača	$V_M = 100.91 \text{ m}^3 \text{ na dan}$
- Koncentracija suve materije u ugušćenom mulju	$C_{SM-UM} = 55 \text{ kg SM/m}^3$
- Dnevna količina suve materije koju je potrebno tretirati u trulištu	$G_{SM} = 5\,550 \text{ kg SM na dan}$
- Sadržaj organskih materija u ukupnoj količini suvih materija (70%)	$G_{OM} = 3\,885 \text{ kg SM na dan}$
- Redukcija organskih materija usled digestije (50%)	$\Delta G_{OM} = 1\,942.5 \text{ kg SM na dan}$
- Minimalno vreme retencije ugušćenog mulja u digestoru I	$t_R = 16 \text{ dana}$

Zahtevani kapacitet digestora I stepena je:

$$V_{D1} (\text{m}^3) = Q_{UM} \cdot t_R = 100.91 \cdot 16 = 1\,614.56$$

Usvaja se armirano-betonski digestor cilindračnog oblika sa nagibom dna prema središtu digestora, dimenzija:

- prečnik: $D_{D1} = 15 \text{ m}$
- visina: $H_{D1} = 10 \text{ m}$
- zapremina: $V_{D1} = 1\,767.15 \text{ m}^3$

Zapremina digestora II stepena je takođe $V_{D2} = 1\,767.15\text{ m}^3$.

Ukupna zapremina digestora I i II je $V_{DU} = 3\,534.4\text{ m}^3$.

Opterećenje zapremine oba digestora suvom organskom supstancom iznosi:

$$R_{SMV} (\text{kgVM} / \text{m}^3) = \frac{G_{OM}}{V_{DU}} = \frac{3885}{3534.4} = 1.10$$

Opterećenje zapremine prvog digestora suvom organskom supstancom iznosi:

$$R_{SMV-1} (\text{kgVM} / \text{m}^3) = \frac{G_{OM}}{V_{D1}} = \frac{3885}{1767.15} = 2.20$$

Opterećenje zapremine prvog digestora je manje od 2.4 kg VM/m^3 na dan, a predstavlja maksimalno dozvoljeno opterećenje volatilnih (organskih) materija.

Posle digestije II stepena i dodatnog stabilizovanja i ugušćenja mulja, isti se povremeno, zavisno od pogonskih uslova evakuše iz sistema.

Koncentracija suve materije nakon digestora II je:

$$C_{SM2} = \text{cca } 4.2\%$$

Prema tome, sirovi mulj dolazi iz primarnog ugušćivača sa $C_{SM2} = 5.5\%$ suve materije, a iz digestora II stepena izlazi sa $C_{SM2} = 4.2\%$ suve materije, uz konstataciju da se u procesu digestije razgradi cca 50% organskih materija.

Svi navedeni proračuni u vezi količine i koncentracije obrađivanog mulja i nadmuljne vode su orijentacioni i zavise od načina vođenja procesa, kao i pogonskih uslova na samom postrojenju.

– Naknadni ugušćivač stabilizovanog mulja

Posle svih opisanih procesa koji se odvijaju u digestorima i anaerobne stabilizacije mulja isti se povremeno vadi iz digestora II stepena i dalje obrađuje da bi se doveo u formu u kojoj se može nesmetano odlagati na uređenu deponiju ili koristiti u druge svrhe.

Radi unificiranja opreme, usvojen je ugušćivač istih dimenzija i karakteristika kao što je i primarni ugušćivač.

Ugušćivač radi diskontinuirano, zavisno od dinamike evakuacije stabilizovanog mulja iz digestora. Nadmuljna voda se preko plivajućeg preliva vraća nazad u proces, dok se ugušćeni mulj, sa 4.2% na 6.0% odvodi na dehidrataciju na filter prese.

Ovde je potrebno naglasiti da je evakuacija stabilizovanog mulja iz digestora diskontinuirana i da je zbog toga u ugušćivaču potrebno tu neravnomernost izravnati i omogućiti nesmetano filtriranje mulja na filter presa. Stabilizacija protoka mulja (prelaz sa periodičnog-šaržnog dotoka mulja u ugušćivač i kontinuiranog odvođenja mulja na prese) vrši se dimenzionisanjem taložnika na vremenski period od 7 dana šaržnog dotoka mulja. Time se obezbeđuje uvek dovoljna količina mulja za neprekidno napajanje presa, bez obzira na periodično (šaržno) dopremanje mulja u taložnik.

Naknadni ugušćivač ima sledeće karakteristike:

— prečnik	$D_{NU} = 8.5\text{ m}$
— dubina vode	$H_{NU} = 4.0\text{ m}$
— površina:	$P_{NU} = 56.75\text{ m}^2$
— zapremina:	$V_{NU} = 227\text{ m}^3$

Ukoliko se proces digestije bude odvijao prema usvojenim normativima datim od strane projekatanta ovog postrojenja, i ako diskontinuirana, produkcija stabilizovanog mulja u toku 7 dana na postrojenju će iznositi:

$$Q_{MND} \text{ (m}^3 \text{ nedeljno)} = Q_{UM}^d \cdot t_R = 100.91 \cdot 7 = 706.37$$

Ugušćivanjem sa 4.2 % suve materije na 6.0 % dobiće se količina mulja od :

$$Q_{UMN} \text{ (m}^3 \text{ nedeljno)} = 706.37 \cdot \frac{4.2}{6.0} = 494.46$$

Razlika predstavlja nadmuljnu vodu. Količina nadmuljne vode, koja se preko preliiva odvlači u internu kanalizaciju, iznosi:

$$Q_{MV} \text{ (m}^3 \text{ nedeljno)} = Q_{MND} - Q_{UMN} = 706.37 - 494.46 = 211.91$$

Prema navedenom, količina stabilizovanog mulja od $Q_{UMN} = 494.46 \text{ m}^3$, koja se produkuje u toku sedam dana, treba da se obradi na filter presama tako da se dobije kompaktna masa koja će se odlagati na deponiju.

– Dehidracija mulja

Dalja obrada stabilizovanog, ugušćenog aktivnog mulja se vrši procesom dehidracije na filter presama.

Muljna suspenzija se pre potiskivanja kroz filter presu mora hemijski obraditi dodatkom krečne suspenzije i flokulanta, što obezbeđuje bolju dehidraciju i ukрупnjavanje koagulanata, čime se pospešuje proces ceđenja mulja. Za pripremu ovih hemikalija neophodno je predvideti određenu opremu.

Za olakšavanje procesa filtriranja stabilizovanog mulja na trakastim filter presama, u naknadnom ugušćivaču ispred filter prese u mulj se dozira krečna suspenzija, a određeno flokulaciono sredstvo se dozira u usisni cevovod pumpe visokog pritiska.

Rastvor 5%-nog krečnog mleka će se dozirati dozir pumpom u količini od $Q = 15 - 25 \text{ l/h}$, pri čemu će se dobijati muljna suspenzija čija će pH vrednost iznositi cca 10 - 11. Iz reakcionog bazena, koji je ujedno i crpni bazen, stabilizovani mulj se crpi klipnim pumpama na prese.

Usisni vod ispred pumpe se dozira rastvor polielektrolita u količini od $q = 150 \text{ gr/m}^3$ mulja.

Priprema 5%-nog rastvora krečnog mleka će se vršiti u čeličnoj cilindričnoj posudi koja je snabdevena mešalicom, poklopcem i svim ostalim potrebnim spojnim elementima.

Zapremina posude je $V = 2\ 000 \text{ l}$, a doziranje će se vršiti dozir pumpama u količini od cca 15 - 25 l/h krečnog mleka.

Rastvor polielektrolita u koncentraciji od 0.5% će se pripremati na sledeći način:

- u jednoj posudi, iste konstrukcije i zapremine kao za pripremu krečnog mleka, će se pripremati primarni rastvor polielektrolita 1% koncentracije,
- nakon pripreme 1%-nog rastvora polielektrolita isti će se prepumpavati u dve posude iste zapremine uz razblaženje do koncentracije od 0.5%.

Posude su snabdevene mešalicama i svim drugim potrebnim priključcima.

Potrebna količina polielektrolita, koja će se dozirati u mulj, iznosi:

$$q_1 = 150 \text{ gr/m}^3$$

$$q_2 = 150 \text{ gr/m}^3 \cdot 100.91 \text{ m}^3 \text{ na dan} = 15.14 \text{ kg na dan}$$

Potrebna dnevna količina $C_{PE}=0.5\%$ rastvora polielektrolita iznosi:

$$Q_{PE} \text{ (l na dan)} = \frac{q_2}{C_{PE}} = \frac{15.14}{0.5} \cdot 100 = 3028$$

Primarni rastvor će se pumpom kapaciteta $q = 3.0 \text{ m}^3/\text{h}$ prepumpavati u posude gde će se potom pripremati sekundarni rastvor. Kapacitet dozirne pumpe za doziranje sekundarnog rastvora polielektrolita iznosi $Q_{PPE} = 0 - 500 \text{ l/h}$.

Trakasta filter presa

Imajući u vidu da ukupna količina stabilizovanog mulja, koja bi trebala dnevno da se obrađuje na trakastoj filter presi iznosi $Q = 35 \text{ m}^3$ na dan, usvaja se trakasta filter karakteristika sličnih kao trakasta filter presa "PASSAVANT" tip SIBAMAT 2 125.

Kapacitet usvojene trakaste filter prese iznosi $Q = 6 \text{ m}^3/\text{h}$ obrađene muljne suspenzije.

Radni period u toku sedam dana iznosi $t_1 = 5$ dana, a u toku dana $t_2 = 8$ časova.

Prema tome ukupna dnevna količina stabilizovanog mulja koja će se obrađivati na trakastoj filter presi u toku pet dana, a 8 sati dnevno, iznosi:

$$Q_{PR} = 99.89 \text{ m}^3 \text{ na dan} \cong 100 \text{ m}^3 \text{ na dan} = 12.36 \text{ m}^3/\text{h}$$

Usvajaju se dve trakaste filter prese koje će raditi paralelno sa pojedinačnim kapacitetom $Q_{TP} = 6 \text{ m}^3/\text{h}$.

Filtriranjem mulja na trakastoj filter presi dobija se filterski kolač sa cca 25% suve materije. Filterski kolač se kontinuirano evakuše i trakastim transporterom odlaže u kontejner.

Procedna voda nakon procesa filtracije na trakastoj filter presi se vraća u proces a filterski kolač sa 25% čvrste materije trakastim transporterom u kontejner i dalje na deponuju.

– Produkcija i korišćenje gasa

U procesu anaerobnog tretmana mulja kao jedan od produkata se pojavljuje se biogas koji je mešavina cca 60-70% metana i cca 20-30% ugljen dioksida.

U digesterima dolazi do biohemijskih reakcija i razlaganja organskih supstanci prisutnih u sirovom mulju, pri čemu dolazi do smanjenja zapremine organskih materija na račun produkcije gasovitih komponenti. Srednja donja toplotna vrednost proizvedene mešavine biogasa iznosi oko $J = 21\,800 \text{ KJ}/\text{Nm}^3$.

Specifična produkcija gasa iz sirovog mulja zavisna je od porekla mulja a u ovom slučaju, gde se radi o otpadnim vodama grada i industrije, može se usvojiti da ona iznosi $q_{spec} = 30 \text{ l/ES}$ na dan = $0.030 \text{ m}^3/\text{ES}$ na dan.

Prema tome, za kapacitet postrojenja od $N_{ES} = 100\,000 \text{ ES}$ može se očekivati sledeća produkcija gasa:

$$Q_{BG}^d \text{ (Nm}^3 \text{ na dan)} = N_{ES} \cdot q_{spec} = 100\,000 \cdot 0.030 = 3\,000$$

Raspoloživa toplotna vrednost proizvedenog gasa u toku dana iznosi:

$$J_{BG}^d \text{ (KJ na dan)} = J \cdot Q_{BG}^d = 21.8 \cdot 10^3 \cdot 3\,000 = 65.4 \cdot 10^6$$

Biogas ne nastaje ravnomerno u toku dana. Obzirom da se u digestore povremeno unosi sveži mulj a sa njim i hranjive materije, to je produkcija gasa najintenzivnija oko 2 sata posle punjenja digestora svežim muljem. Iza toga postepeno opada produkcija gasa da bi se povećala pri ponavljanju navedenog ciklusa.

Povećana produkcija gasa se javlja i u periodu uduvavanja biogasa u digestore, radi homogenizacije celokupne mase digestora, kada dolazi do optimalne raspodele hranjivih materija po reakcionoj površini substrata.

Istovremeno ovaj proces izaziva potpuno izdvajanje gasa iz mulja koji truli, pri čemu mali mehurići gasa koji nastaju u pojedinačnim pahuljama mulja bivaju otrgnuti i terani na gore.

Uduvavanjem već proizvedenog bio gasa u digestore takođe nastaje udarni porast količine gasa u digestorima kojeg je potrebno prihvatiti i lagerovati na određena i sigurna mesta.

U tom smislu je predviđen gasni balon - rezervoar za prihvatanje proizvedenog bio gasa, koji se potom koristi za razne svrhe.

Sam prihvatanje bio gasa, njegovo čišćenje, filtriranje kroz šljunčane i keramičke filtre, uklanjanje eventualno prisutne vode i slično, kao i definitivno dimenzionisanje svih cevovoda, izvršiće se od strane isporučioaca osnovne opreme za tretman mulja.

Rezervoar za gas, dakle, služi za sakupljanje gasa i za izjednačavanje pritiska, odnosno održavanje pritiska u gasnom sistemu.

Usvoja se rezervoar za gas, zapremine $V_{RG} = 700 \text{ m}^3$.

U rezervoaru se nalazi šljunčani filter koji služi kao osigurač od povratnog plamena sa baklje, kao i za i za sušenje gasa.

Između rezervoara za gas i digestora je ugrađena baklja, povezana sa rezervarom za gas, koja služi da bi se višak gasa koji nije momentalno potreban, ili gas nedovoljnog kvaliteta za skladištenje, mogli spaliti.

Proizvedeni biogas se može koristiti kao energetska sredstvo za dobijanje toplote. Toplota se može koristiti za zagrevanje trulišta na taj način što će se grejati sveži sirovi mulj na procesnu temperaturu. Pored toga neophodno je kompenzovati gubitak temperature koji se javlja usled radijacije sa velike površine trulišta.

U zimskom periodu neophodno je grejati i pogonske prostorije što se takođe može vršiti pomoću biogasa.

Celokupni sistem za sagorevanje biogasa i proizvodnju toplote se sastoji od:

- kotlovske postrojenja
- sabirne i razvodne baterije sa pumpama i cevovodima
- izmenjivača toplote za indirektno zagrevanje mulja

Kotlarnica se potpuno automatizuje, tako da raspolaže potpuno automatizovanim gorionicima za biogas i zemni gas.

Tačnu veličinu kotlarnice, broj, kapacitet i kaloričnu vrednost kotlova određuju energetičari prilikom izrade glavnih izvođačkih projekata grejanja.

5.4.2. Hidraulički proračun po liniji vode

Ukupne količine otpadnih voda za navedeno postrojenje će biti:

- $Q_{sr}^d = 100\,000 \cdot 280 \text{ l/st na dan} = 28\,000 \text{ m}^3 \text{ na dan} = 324.08 \text{ l/s}$
- $Q_{max}^d = 1.25 \cdot 324.08 = 405.10 \text{ l/s}$
- $Q_{max}^h = 1.337 \cdot 324.08 = 433.30 \text{ l/s}$

Hidraulički proračun početak je od recipijenta. Za primer će biti prikazan hidraulički proračun za rečni recipijent.

Neka je sa $\nabla-R$ označena kota vode u reci (nivo velike vode), a sa $\nabla-L$ - kota vode u laguni.

5.4.2.1. Proračun cevovoda od lagune (retenzije) do izliva u recipijent

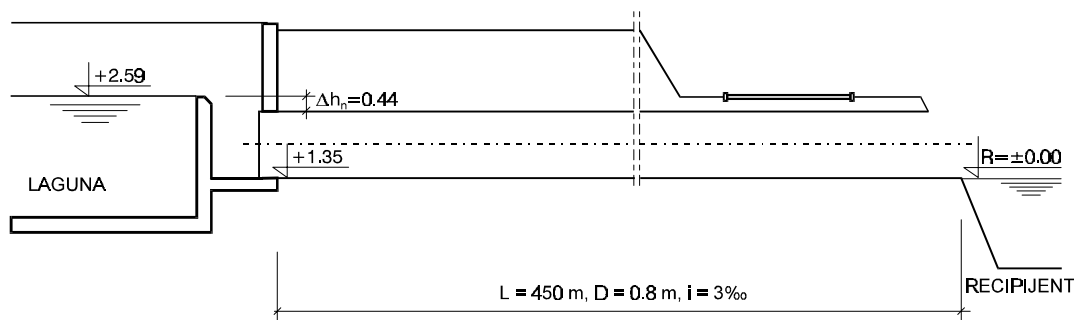
Cevovodom će se transportovati količina prečišćene vode od $Q_{max}^h = 0.4333 \text{ m}^3/\text{s}$, pa će to biti merodavna količina za dimenzionisanje cevovoda. Tečenje u cevovodu je sa slobodnom površinom,

Usvojena je azbest cementna cev $\varnothing 800 \text{ mm}$.

Maksimalno očekivana količina vode u cevovodu je $Q_{max}^h = 0.4333 \text{ m}^3/\text{s}$. Usvojena cev prečnika $D = 800 \text{ mm}$ je dužine $L = 450.00 \text{ m}$. Za navedene parametre linijski gubitak u cevi za pad od $i = 3\text{‰}$ iznosi:

$$\Delta h_L = L \cdot i = 450 \cdot 0.003 = 1.35 \text{ m}$$

Slika 85 - Detalj - cevovod od lagune do recipijenta



Kota dna cevi na izlivu je 0.00 mm , kota dna na ulazu u cevovod 1.35 mm , a linijski gubitak na potezu zbog pada ($i = 3\text{‰}$) $\Delta h_L = 1.35 \text{ m}$.

Maksimalna propusna moć cevovoda, dijametra $\varnothing 800 \text{ mm}$, pada $i = 3.0 \text{ ‰}$, apsolutne hrapavosti $K_s = 1.5 \text{ mm}$ iznosi $Q_{PP} = 718 \text{ l/s}$, brzine proticaja $v_{PP} = 1.42 \text{ m/s}$.

Za $Q_{max}^h = 433.3 \text{ l/s}$, stepen punjenja cevi je:

$$\frac{Q_{max}^h}{Q_{PP}} = \frac{433.33}{718} = 0.6$$

Maksimalna ispunjenost cevi može biti 60% .

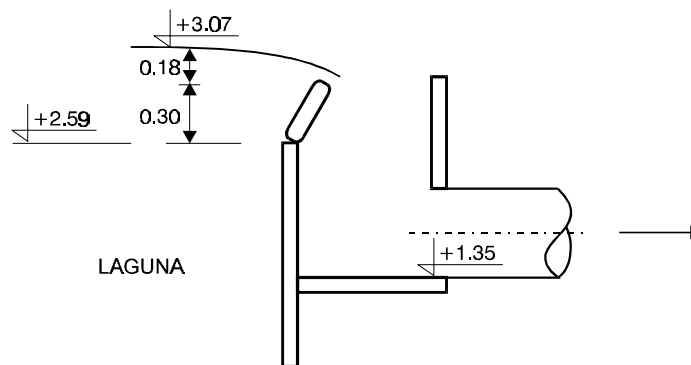
5.4.2.2. Proračun visine preliivanja na laguni (retenzija)

Ukupna količina otpadne vode koja će doticati u lagunu je $Q_{\max}^h = 0.4333 \text{ m}^3/\text{s}$. Usvaja se dužina podesivog preliiva od $b = 3.00 \text{ m}$, sa visinom preliiva $\Delta h_p = 0.3 \text{ m}$.

Za koeficijent proticaja $\mu = 0.64$, potrebna visina preliivanja iz lagune iznosi:

$$H(\text{m}) = \left(\frac{Q_{\max}^h}{\frac{2}{3} \cdot \mu \cdot b \cdot \sqrt{2g}} \right)^{2/3} = \left(\frac{0.4333}{\frac{2}{3} \cdot 0.64 \cdot 3.00 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81}} \right)^{2/3} = 0.18$$

Slika 86 - Detalj preliiva na laguni



Potrebna visina preliiva iznosi $H = 0.18 \text{ m}$, pa ukupni gubitak na laguni iznosi:

$$\Delta h_2 = \Delta h_p + H = 0.3 + 0.18 = 0.48 \text{ m}$$

$$\nabla L = \nabla R + \Delta h_1 + D + \Delta h_n + \Delta h_2 = \nabla R + 1.35 + 0.8 + 0.44 + 0.48 = \nabla R + 3.07 \text{ m}$$

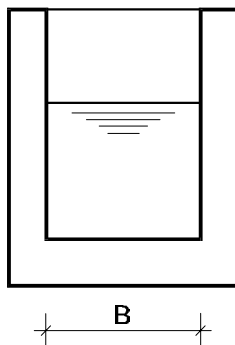
$$\nabla R = 0.00 \text{ mmm} - \text{relativna kota nivoa za velike vode u reci}$$

5.4.2.3. Proračun kanala od tercijarnog prečišćavanja do lagune

Maksimalno očekivana količina vode u kanalu je $Q_{\max}^h = 0.4333 \text{ m}^3/\text{s}$.

Usvojen je kanal širine $B = 800 \text{ mm}$ i dužine $L = 15.00 \text{ m}$. Za navedene parametre i linijski pad kanala od $i = 1\text{‰}$, normalna dubina kanala - h_0 se proračunava iz izraza za maksimalni protok kanalom.

Slika 87 - Presek kanala



$$Q_{\max}^h = \frac{1}{n} \cdot i^{1/2} \cdot \frac{[B \cdot h_0]^{5/3}}{[B + 2 \cdot h_0]^{2/3}}$$

Vrednost koeficijenta hrapavosti kanala, za kanal od betona, usvaja se iz tablica. Za proračun smo usvojili uglačani beton ($n = 0.011$), pa je vrednost iz izraza:

$$\frac{1}{n} (\text{m}^{1/3} / \text{s}) = 90$$

Zamenom vrednosti u gornjoj relaciji se dobija da je normalna dubina kanala: $h_0 = 0.514 \text{ m}$

Usvaja se, za maksimalni protok Q_{\max}^h , normalna dubina kanala od $h_0 = 0.51 \text{ m}$.

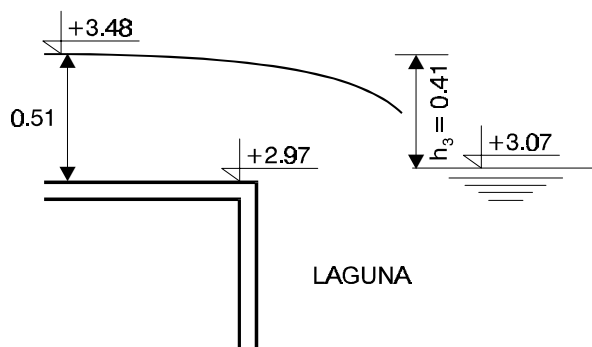
Brzina proticaja kroz kanal, za usvojene parametre, iznosi $v = 1.05$ m/s.

Linijski gubitak u kanalu iznosi:

$$\Delta h_L = i \cdot L = 0.001 \cdot 15 \text{ m} = 0.015 \text{ m} \quad 0.02 \text{ m}$$

Razlika nivoa u kanalu i u laguni (retenziji) iznosi $\Delta h_3 \approx 0.41$ m.

Slika 88 - Detalj - uliv kanala u lagunu



5.4.24. Tercijarno prečišćavanje

– Proračun visine prelivanja na podesivom prelivu

Ukupna količina otpadne vode koja će doticati u lagunu je $Q_{\max}^h = 0.4333$ m³/s. Usvaja se dužina podesivog preliva od $b = 2.00$ m, sa visinom preliva $\Delta h_p = 0.3$ m.

Za koeficijent proticaja $\mu = 0.64$, potrebna visina prelivanja iz lagune iznosi:

$$H \text{ (m)} = \left(\frac{Q_{\max}^h}{\frac{2}{3} \cdot \mu \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{2/3} = \left(\frac{0.4333}{\frac{2}{3} \cdot 0.64 \cdot 2 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81}} \right)^{2/3} = 0.24$$

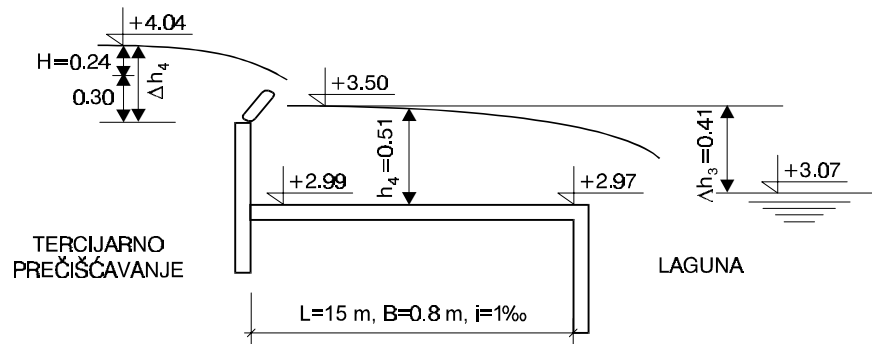
Potrebna visina preliva iznosi $H = 0.24$ m, pa ukupni gubitak na tercijalnom prečišćavanju iznosi:

$$\Delta h_4 = \Delta h_p + H = 0.3 + 0.24 = 0.54 \text{ m}$$

Kota nivoa tercijalnog prečišćavanja iznosi:

$$\begin{aligned} \nabla \text{TP} &= \nabla \text{L} + \Delta h_3 + \Delta h_L + \Delta h_4 = \nabla \text{L} + 0.41 + 0.02 + 0.54 = \nabla \text{L} + 0.97 \text{ m} \\ \nabla \text{TP} &= \nabla \text{R} + 4.04 \text{ m} \end{aligned}$$

Slika 89 - kanal sa prelivom od terciarnog prečišćavanja do lagune



– Proračun cevovoda od sabirnog šahta do terciarnog prečišćavanja

Ovim cevovodom će se transportovati količina od $Q_{\max}^h = 0.4333 \text{ m}^3/\text{s}$. Na cevovodu se nalazi i elektromagnetni merač protoka. Cevovod je potopljen pa će tečenje biti pod pritiskom.

Usvojena je čelična kanalizaciona cev $\varnothing 800 \text{ mm}$.

Maksimalno očekivana količina vode u cevovodu je $Q_{\max}^h = 0.4333 \text{ m}^3/\text{s}$. Usvojena cev prečnika $D = 800 \text{ mm}$ je dužine $L = 40.00 \text{ m}$. Za navedene parametre linijski gubitak u cevi za pad od $i = 3\text{‰}$ iznosi:

$$\Delta h_L = L \cdot i = 40 \cdot 0.003 = 0.12 \text{ m}$$

Za $Q_{\max}^h = 433.3 \text{ l/s}$, kao i za cev prečnika $D = 800 \text{ mm}$, brzina proticaja iznosi $v = 0.86 \text{ m/s}$. Za kinematski koeficijent viskoznosti $\nu = 1.236 \cdot 10^{-6}$, Rejnoldsov kriterijum proticaja u cevi iznosi:

$$\text{Re} = \frac{v \cdot D}{\nu} = \frac{0.86 \cdot 0.8}{1.236 \cdot 10^{-6}} = 5.57 \cdot 10^5$$

Relativna hrapavost je odnos veličina prečnika cevovoda i koeficijenta hrapavosti. Za koeficijent hrapavosti $K = 0.4 \text{ mm}$, relativna hrapavost iznosi:

$$\frac{D}{K} = \frac{800}{0.4} = 2000$$

Sa slike 90, za navedene vrednosti Re i relativne hrapavosti D/K , grafički se dobija da je koeficijent linijskog otpora, $\lambda = 0.019$.

Ukupan hidraulički gubitak od sabirnog šahta do terciarnog prečišćavanja se izračunava iz relacije:

$$\Delta h_s = \left(\xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \lambda \cdot \frac{L}{D} \right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

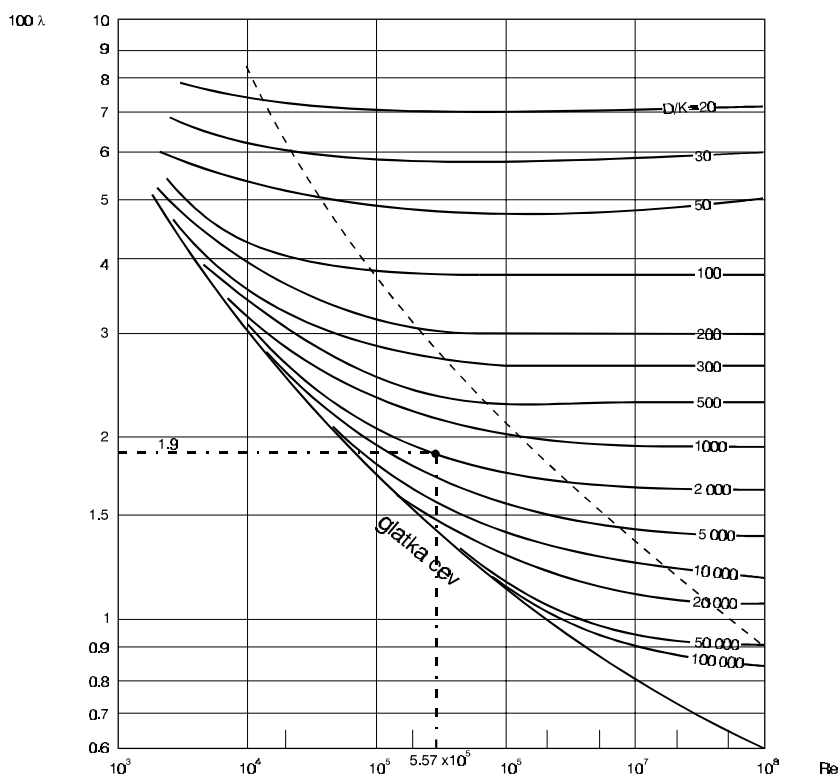
$\xi_1 = 0.5$ - koeficijent lokalnog gubitka na ulazu

$\xi_2 = 1.0$ - koeficijent lokalnog gubitka na izlazu

$\xi_3 = 0.66$ - koeficijent lokalnog gubitka na kolenu 90° .

$$\Delta h_s (\text{m}) = \left(0.5 + 1.0 + 0.66 + 0.019 \cdot \frac{40.00}{0.80} \right) \cdot \frac{0.86^2}{2 \cdot 9.81} = 0.117$$

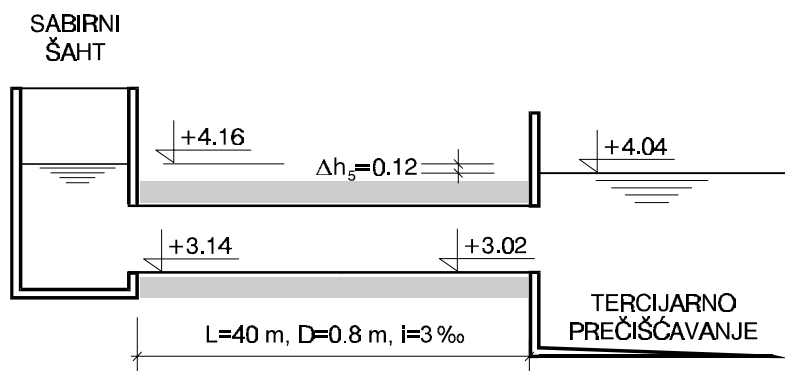
Slika 90 - Grafički prikaz Kolbrukove formule



Usvaja se ukupan hidraulički gubitak od sabirnog šahta do tercijalnog prečišćavanja u visini od $\Delta h_5 = 0.12$ m.

Kota dna cevi na izlivu je 3.02 mm, kota dna na ulazu u cevovod 3.14 mm, a linijski gubitak na potezu zbog pada ($i = 3\text{‰}$) $\Delta h_L = 0.12$ m.

Slika 91 - Cevovod od sabirnog šahta do tercijarnog prečišćavanja

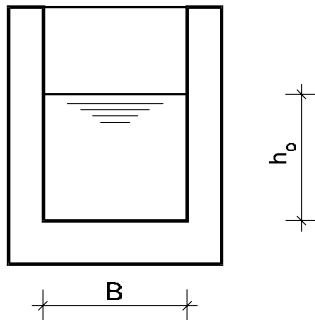


5.4.2.5. Proračun otvorenog kanala od naknadnog taložnika do sabirnog šahta

Maksimalno očekivana količina vode u kanalu je polovina početnog maksimalnog proticaja $Q_{\max}^* = 0.21665 \text{ m}^3/\text{s}$.

Usvojen je kanal širine $B = 600 \text{ mm}$ i dužine $L = 15.00 \text{ m}$. Za navedene parametre i linijski pad kanala od $i = 1\text{‰}$, normalna dubina kanala - h_0 se preračunava iz izraza za maksimalni protok kanalom.

Slika 92 - Presek kanala



$$Q_{\max}^* = \frac{1}{n} \cdot i^{1/2} \cdot \frac{[B \cdot h_0]^{5/3}}{[B + 2 \cdot h_0]^{2/3}}$$

Vrednost koeficijenta hrapavosti kanala, za kanal od betona, usvaja se iz tablica. Za proračun smo usvojili ugačani beton ($n = 0.011$), pa je vrednost iz izraza:

$$\frac{1}{n} (\text{m}^{1/3} / \text{s}) = 90$$

Zamenom vrednosti u gornjoj relaciji se dobija da je normalna dubina kanala: $h_0 = 0.406 \text{ m}$

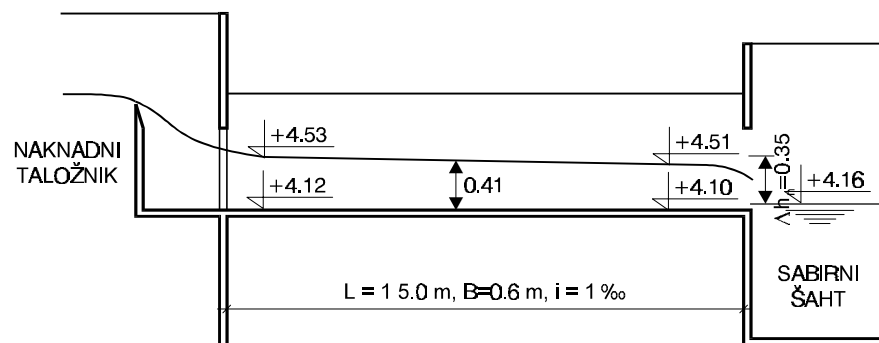
Usvaja se, za maksimalni protok Q_{\max}^* , normalna dubina kanala od $h_0 = 0.41 \text{ m}$.

Brzina proticaja kroz kanal, za usvojene parametre, iznosi $v = 0.884 \text{ m/s}$.

Linijski gubitak u kanalu iznosi:

$$\Delta h_L = i \cdot L = 0.001 \cdot 15 = 0.015 \text{ m} \approx 0.02 \text{ m}$$

Slika 93 - Kanal od naknadnog taložnika do sabirnog šahta



Kota nivoa sabirnog šahta iznosi:

$$\nabla S\check{S} = \nabla TP + \Delta h_5 = \nabla TP + 0.12 \text{ m}$$

$$\nabla S\check{S} = \nabla R + 4.16 \text{ m}$$

5.4.2.6. Naknadni taložnik

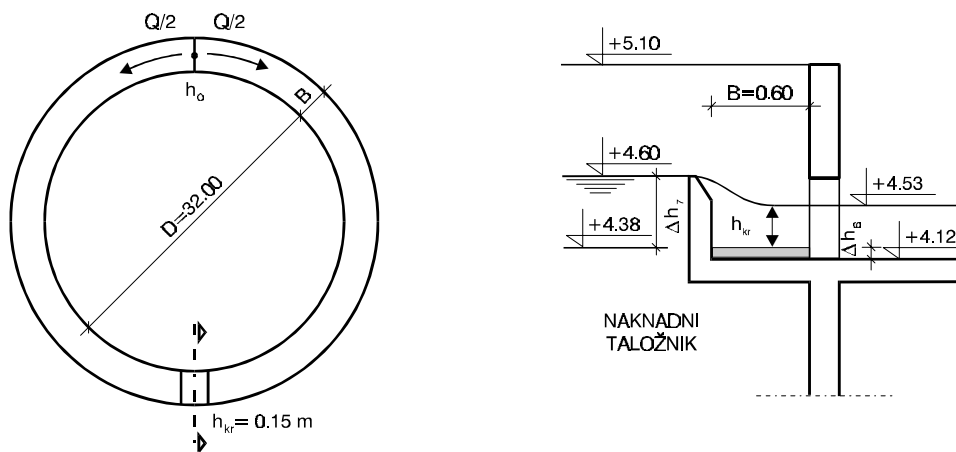
– Proračun obodnog kanala

Maksimalno očekivana količina vode u kanalu je polovina početnog maksimalnog proticaja $Q_{\max}^* = 0.21665 \text{ m}^3/\text{s}$.

Protok kroz obodni kanal se ostvaruje na dve strane, pa je merodavan proticaj kroz obodni kanal, potreban za određivanje normalne dubine kanala:

$$Q_{\text{mer}} (\text{m}^3 / \text{s}) = \frac{Q_{\max}^*}{2} = \frac{0.21665}{2} = 0.108325$$

Slika 94 - Obodni kanal naknadnog taložnika - preseci



Usvojen je kanal širine $B = 600 \text{ mm}$. Za navedene parametre i linijski pad kanala od $i = 1\text{‰}$, normalna dubina kanala - h_0 se proračunava iz izraza za maksimalni protok kanalom.

$$Q_{\text{mer}} = \frac{1}{n} \cdot i^{1/2} \cdot \frac{[B \cdot h_0]^{5/3}}{[B + 2 \cdot h_0]^{2/3}}$$

Vrednost koeficijenta hrapavosti kanala, za kanal od betona, usvaja se iz tablica. Za proračun smo usvojili uglučani beton ($n = 0.011$), pa je vrednost iz izraza $\frac{1}{n} (\text{m}^{1/3}/\text{s}) = 90$.

Zamenom vrednosti u gornjoj relaciji se dobija da je normalna dubina kanala:

$$h_0 = 0.24 \text{ m}$$

Usvaja se, za merodavan protok Q_{mer} , normalna dubina kanala od $h_0 = 0.24 \text{ m}$.

Na izlazu iz kanala u sabirni kanal se podiže nivo preko praga, sa usvojenom visinom praga od $\Delta h_6 = 0.26 \text{ m}$.

Kritična dubina se izračunava iz izraza:

$$h_{\text{kr}} (\text{m}) = 3 \sqrt{\frac{Q_{\max}^*{}^2}{g \cdot B^2}} = 3 \sqrt{\frac{0.108325^2}{9.81 \cdot 0.6^2}} = 0.15$$

Kota nivoa u kanalu na ulazu u sabirni kanal je:

$$h_{iz}(m) = h_{kr} + \Delta h_6 = 0.15 + 0.26 = 0.41$$

Sada visina između nivoa u naknadnom taložniku i gornje ivice praga iznosi:

$$\Delta h_7 = 0.22 \text{ m}$$

Dužina obodnog kanala iznosi:

$$L(m) = D \cdot \pi = 32 \cdot \pi = 100.53$$

Maksimalno opterećenje prelivnice po celom obodu iznosi:

$$\frac{Q_{\max}^*}{L} (\text{m}^2 / \text{s}) = \frac{0.21665}{100.53} = 0.00215$$

Kota nivoa naknadnog taložnika iznosi:

$$\begin{aligned} \nabla \text{--- NT} &= \nabla \text{--- SŠ} + \Delta h_n + \Delta h_6 + \Delta h_7 + \Delta h_L - h_0 = \nabla \text{--- SŠ} + 0.35 + 0.26 + 0.22 + 0.02 - 0.41 = \\ &= \nabla \text{--- SŠ} + 0.44 \text{ m} \\ \nabla \text{--- NT} &= \nabla \text{--- R} + 4.60 \text{ m} \end{aligned}$$

– Proračun Štengelovih ulaznih elemenata na centralnom cilindru

Maksimalno očekivana količina vode u centralnom cilindru naknadnog taložnika je polovina početnog maksimalnog proticaja $Q_{\max}^* = 0.21665 \text{ m}^3/\text{s}$.

Dozvoljena brzina isticanja kroz Štengelov ulazni element je $V_{\text{doz}} = 0.80 \text{ m/s}$, pa je potrebna površina poprečnih preseka ulaznih elemenata (ukupna površina):

$$P_{\Sigma}(\text{m}^2) = \frac{Q_{\max}^*}{V_{\text{doz}}} = \frac{0.21665}{0.80} = 0.2708$$

Usvajimo li da je prečnik jednog ulaznog elementa $\varnothing 200 \text{ mm}$ sa površinom poprečnog preseka $P_1 = 0.031 \text{ m}^2$ izračunavamo broj elemenata:

$$n = \frac{P_{\Sigma}}{P_1} = \frac{0.2708}{0.031} = 9 \text{ komada}$$

Na centralnom cilindru treba ugraditi 9 Štengelovih ulaznih elemenata prečnika:

$$D = 200 \text{ mm.}$$

– **Proračun sifonskog cevovoda od bioaeracionog bazena do centralnog cilindra naknadnog taložnika**

Maksimalno očekivana količina vode u sifonskom cevovodu od bioaeracionog bazena do centralnog cilindra naknadnog taložnika je polovina početnog maksimalnog proticaja $Q_{\max}^* = 0.21665 \text{ m}^3/\text{s}$.

Usvaja se sifonski cevovod prečnika $D=600\text{mm}$ i dužine $L=25.00\text{m}$. Za navedene vrednosti brzina proticaja iznosi $v=0.77 \text{ m/sec}$.

Gubitak pritiska u sifonskom vodu se izračunava iz izraza:

$$\Delta h_s = \left(\xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \lambda \cdot \frac{L}{D} \right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$\xi_1 = 0.5$ - koeficijent lokalnog gubitka na ulazu

$\xi_2 = 0.66$ - koeficijent lokalnog gubitka na kolenu 90°

$\xi_3 = 1.0$ - koeficijent lokalnog gubitka na izlazu

$K = 0.60 \text{ mm}$ - koeficijent hrapavosti

Relativna hrapavost je odnos veličina prečnika cevovoda i koeficijenta hrapavosti. Za koeficijent hrapavosti $K=0.60 \text{ mm}$, relativna hrapavost iznosi:

$$\frac{D}{K} = \frac{600}{0.60} = 1000$$

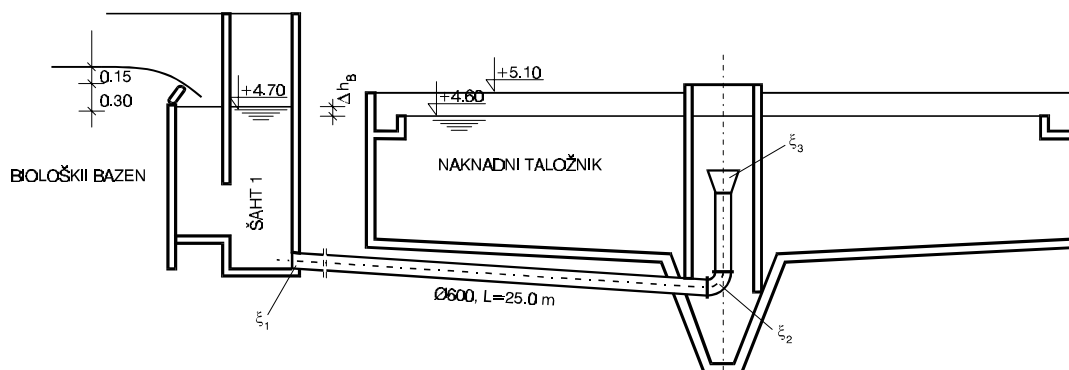
$$\text{Re} = \frac{0.600 \cdot 0.77}{1.236 \cdot 10^{-6}} = 3.72 \cdot 10^5$$

$\lambda = 0.022$ - koeficijent linijskog otpora (videti sliku 90)

$$\Delta h_s (\text{m}) = \left(0.50 + 0.66 + 1.00 + 0.022 \cdot \frac{25.00}{0.60} \right) \cdot \frac{0.77^2}{2 \cdot 9.81} = 0.09$$

Usvaja se vrednost gubitka pritiska u sifonskom vodu od $\Delta h_s = 0.10\text{m}$.

Slika 95 - Sifonski cevovod od biološkog bazena do naknadnog taložnika



5.4.2.7. Biološki bazen

Maksimalno očekivana količina vode na ulazu u svaki biološki bazen je polovina početnog maksimalnog proticaja $Q_{\max}^* = 0.21665 \text{ m}^3/\text{s}$.

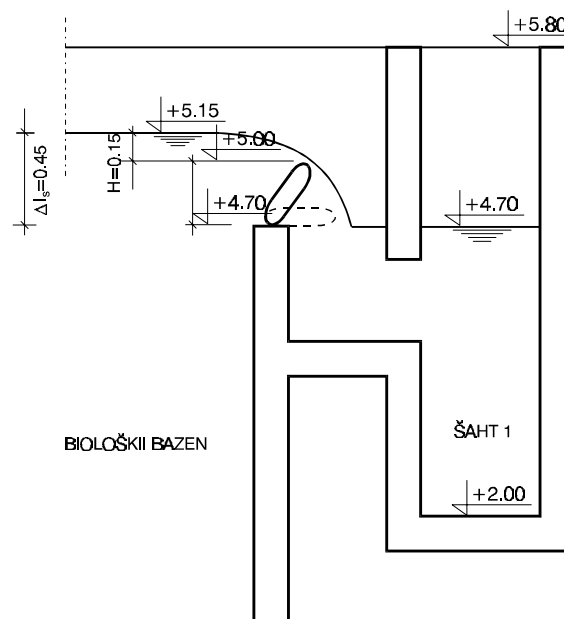
– Proračun visine prelivanja na podesivom prelivu

Ukupna količina otpadne vode koja će doticati u biološki bazen je $Q_{\max}^* = 0.21665 \text{ m}^3/\text{sec}$. Usvaja se dužina podesivog preлива od $b = 2.00 \text{ m}$.

Za koeficijent proticaja $\mu = 0.64$, potrebna visina prelivanja iz bioaeracionog bazena iznosi:

$$H(\text{m}) = \left(\frac{Q_{\max}^*}{\frac{2}{3} \cdot \mu \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{2/3} = \left(\frac{0.21665}{\frac{2}{3} \cdot 0.64 \cdot 2 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81}} \right)^{2/3} = 0.15$$

Slika 95 - Detalj - podesiv preliv na izlazu iz biološkog bazena



Potrebna visina preлива iznosi $H = 0.15 \text{ m}$, pa ukupni gubitak na biološkom bazenu, od biološkog bazena do šahta 1 iznosi:

$$\Delta h_o = \Delta h_p + H = 0.3 + 0.15 = 0.45 \text{ m}$$

Kota maksimalnog nivoa vode u bioaeracionom bazenu iznosi:

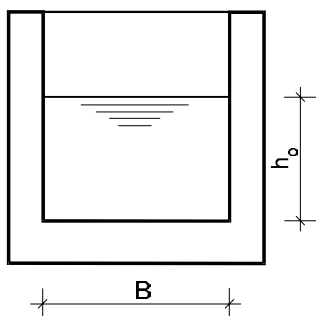
$$\begin{aligned} \nabla \text{BB} &= \nabla \text{NT} + \Delta h_s + \Delta h_o = \nabla \text{NT} + 0.1 + 0.45 = \nabla \text{NT} + 0.55 \text{ m} \\ \nabla \text{BB} &= \nabla \text{R} + 5.15 \text{ m} \end{aligned}$$

– Proračun kanala od primarnog taložnika do biološkog bazena

Maksimalno očekivana količina vode u kanalu je $Q_{\max}^* = 0.21665 \text{ m}^3/\text{s}$.

Usvojen je kanal širine $B = 600 \text{ mm}$ i dužine $L = 10.00 \text{ m}$. Za navedene parametre linijski pad kanala od $i = 1\text{‰}$, normalna dubina kanala - h_0 se preračunava iz izraza za maksimalni protok kanalom.

Slika 97 - Poprečni presek



$$Q_{\max}^* = \frac{1}{n} \cdot i^{1/2} \cdot \frac{[B \cdot h_0]^{5/3}}{[B + 2 \cdot h_0]^{2/3}}$$

Vrednost koeficijenta hrapavosti kanala, za kanal u betonu, usvaja se iz tablica. Za proračun smo usvojili ugačani beton ($n = 0.011$), pa je vrednost iz izraza $\frac{1}{n} (\text{m}^{1/3}/\text{s}) = 90$.

Zamenom vrednosti u gornjoj relaciji se dobija da je normalna dubina kanala: $h_0 = 0.41 \text{ m}$

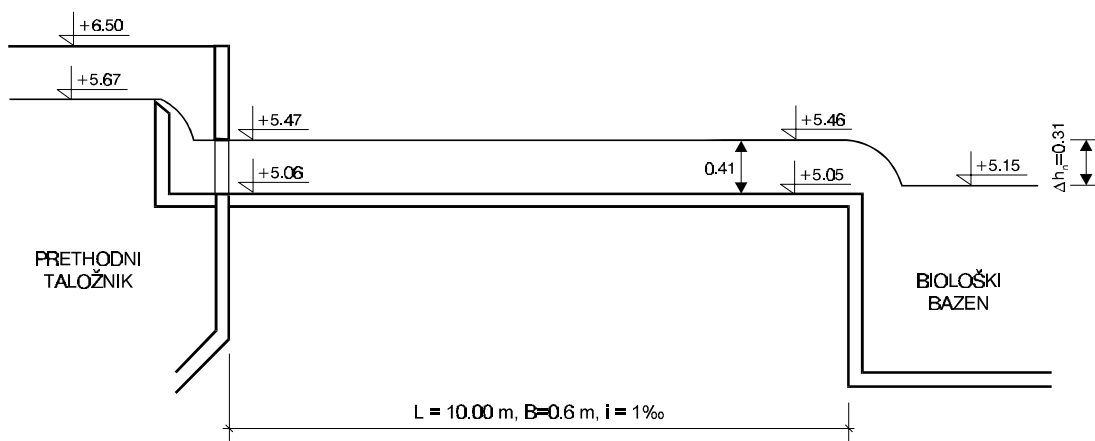
Brzina proticaja kroz kanal, za usvojene parametre, iznosi:

$$v = 0.88 \text{ m/s}$$

Linijski gubitak u kanalu iznosi:

$$\Delta h_L = i \cdot L = 0.001 \cdot 10\text{m} = 0.01\text{m}$$

Slika 98 - Kanal od primarnog taložnika do biološkog bazena



– **Prehodni taložnik**

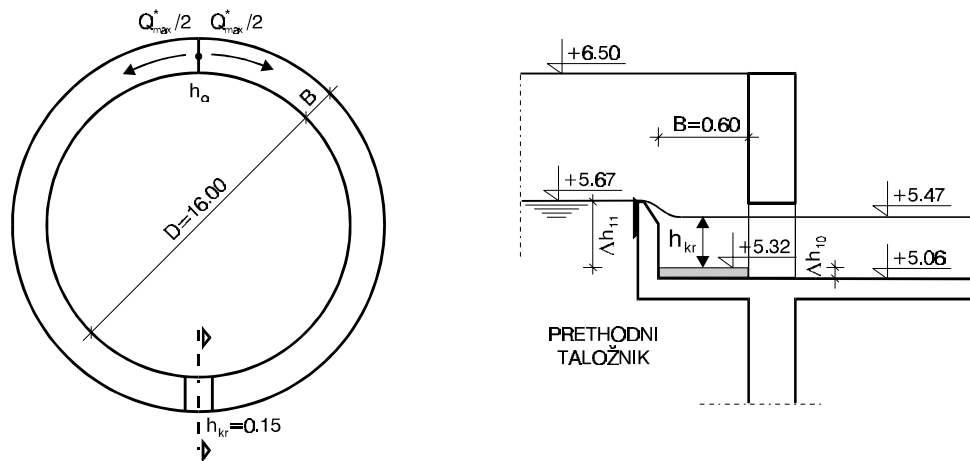
Proračun obodnog kanala

Maksimalno očekivana količina vode u kanalu je polovina početnog maksimalnog proticaja $Q_{\max}^* = 0.21665 \text{ m}^3/\text{s}$.

Protok kroz obodni kanal se ostvaruje na dve strane, pa je merodavan proticaj kroz obodni kanal, potreban za određivanje normalne dubine kanala:

$$Q_{\text{mer}} (\text{m}^3 / \text{s}) = \frac{Q_{\max}^*}{2} = \frac{0.21665}{2} = 0.108$$

Slika 99 - Obodni kanal naknadnog taložnika - preseci



Usvojen je kanal širine $B = 600 \text{ mm}$. Za navedene parametre i linijski pad kanala od $i = 1\text{‰}$, normalna dubina kanala - h_0 se proračunava iz izraza za maksimalni protok kanalom.

$$Q_{\text{mer}} = \frac{1}{n} \cdot i^{1/2} \cdot \frac{[B \cdot h_0]^{5/3}}{[B + 2 \cdot h_0]^{2/3}}$$

Vrednost koeficijenta hrapavosti kanala, za kanal u betonu, usvaja se iz tablica. Za proračun smo usvojili uglučani beton ($n = 0.011$), pa je vrednost iz izraza $\frac{1}{n} (\text{m}^{1/3}/\text{s}) = 90$.

Zamenom vrednosti u gornjoj relaciji se dobija da je normalna dubina kanala:

$$h_0 = 0.24 \text{ m}$$

Usvaja se, za merodavan protok Q_{mer} , normalna dubina kanala od $h_0 = 0.24 \text{ m}$.

Na izlazu iz kanala u kanal koji povezuje primarni taložnik i biološki bazen se podiže nivo preko praga, sa usvojenom visinom praga od $\Delta h_{10} = 0.26 \text{ m}$.

Kritična dubina se izračunava iz izraza:

$$h_{kr} \text{ (m)} = \sqrt[3]{\frac{Q_{\max}^*{}^2}{g \cdot B^2}} = \sqrt[3]{\frac{0.108^2}{9.81 \cdot 0.6^2}} = 0.15$$

je: Kota nivoa u kanalu na ulazu u kanal između primarnog taložnika i biološkog bazena

$$h_{iz} \text{ (m)} = h_{kr} + \Delta h_{10} = 0.15 + 0.26 = 0.41$$

Sada visina između nivoa u primarnom taložniku i gornje ivice praga iznosi:

$$\Delta h_{11} = 0.35 \text{ m}$$

Dužina obodnog kanala iznosi:

$$L \text{ (m)} = D \cdot \pi = 16 \cdot \pi = 50.27$$

Maksimalno opterećenje prelivnice po celom obodu iznosi:

$$\frac{Q_{\max}^*}{L} \text{ (m}^2 \text{ / s)} = \frac{0.21665}{50.27} = 0.0043$$

Kota nivoa prethodnog taložnika iznosi:

$$\begin{aligned} \nabla \text{ PT} &= \nabla \text{ BB} + \Delta h_n + \Delta h_L - h_0 + \Delta h_{10} + \Delta h_{11} = \nabla \text{ BB} + 0.31 + 0.01 - 0.41 + 0.26 + 0.35 \\ &= \nabla \text{ BB} + 0.52 \text{ m} \\ \nabla \text{ PT} &= \nabla \text{ R} + 5.67 \text{ m} \end{aligned}$$

Proračun Štengelovih ulaznih elemenata na centralnom cilindru

Maksimalno očekivana količina vode u centralnom cilindru primarnog taložnika je polovina početnog maksimalnog proticaja $Q_{\max}^* = 0.21665 \text{ m}^3/\text{s}$.

Dozvoljena brzina isticanja kroz Štengelov ulazni element je $V_{\text{doz}} = 0.80 \text{ m/s}$, pa je potrebna površina poprečnih preseka ulaznih elemenata (ukupna površina):

$$P_{\Sigma} \text{ (m}^2\text{)} = \frac{Q_{\max}^*}{V_{\text{doz}}} = \frac{0.21665}{0.80} = 0.271$$

Usvajimo li da je prečnik jednog ulaznog elementa $\varnothing 200 \text{ mm}$ sa površinom poprečnog preseka $P_1 = 0.031 \text{ m}^2$ izračunaćemo broj elemenata:

$$n = \frac{P_{\Sigma}}{P_1} = \frac{0.271}{0.0314} = 9 \text{ komada}$$

Na centralnom cilindru treba ugraditi 9 Štengelovih ulaznih elemenata prečnika:

$$D = 200 \text{ mm.}$$

Proračun sifonskog cevovoda od raspodelne građevine RG1 do centralnog cilindra primarnog taložnika

Maksimalno očekivana količina vode u sifonskom cevovodu od raspodelne građevine RG1 do centralnog cilindra primarnog taložnika je polovina početnog maksimalnog proticaja $Q_{\max}^* = 0.21665 \text{ m}^3/\text{s}$.

Usvaja se sifonski cevovod prečnika $D = 600 \text{ mm}$ i dužine $L = 13.00 \text{ m}$. Za navedene vrednosti brzina proticaja iznosi $v = 0.77 \text{ m/s}$.

Gubitak pritiska u sifonskom vodu se izračunava iz izraza:

$$\Delta h_s = \left(\xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \lambda \cdot \frac{L}{D} \right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$\xi_1 = 0.5$ - koeficijent lokalnog gubitka na ulazu

$\xi_2 = 0.66$ - koeficijent lokalnog gubitka na kolenu 90°

$\xi_3 = 1.0$ - koeficijent lokalnog gubitka na izlazu

$K = 0.60 \text{ mm}$ - koeficijent hrapavosti

Relativna hrapavost je odnos veličina prečnika cevovoda i koeficijenta hrapavosti. Za koeficijent hrapavosti $K = 0.69 \text{ mm}$, relativna hrapavost iznosi:

$$\frac{D}{K} = \frac{600}{0.69} = 870$$

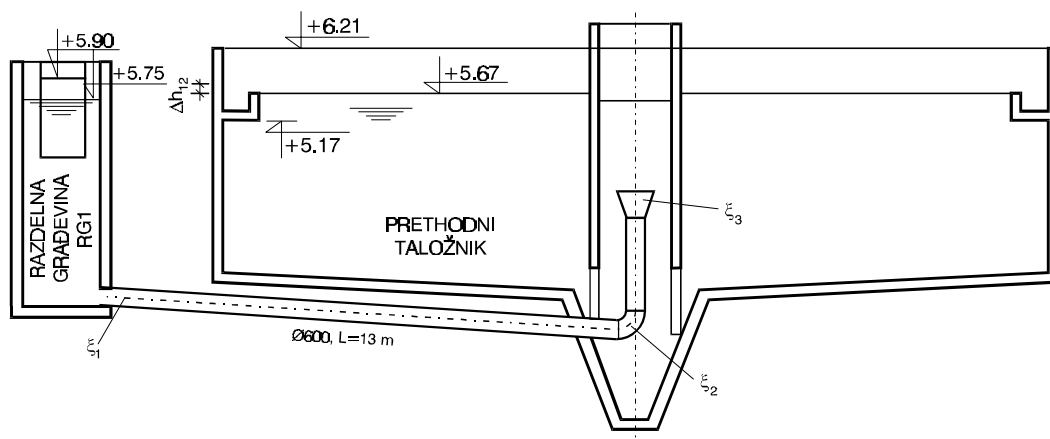
$$\text{Re} = \frac{0.600 \cdot 0.77}{1.236 \cdot 10^{-6}} = 3.74 \cdot 10^5$$

$\lambda = 0.023$ - koeficijent linijskog otpora (videti dijagram na slici 90)

$$\Delta h_{12} (\text{m}) = \left(0.50 + 0.66 + 1.00 + 0.023 \cdot \frac{13.00}{0.60} \right) \cdot \frac{0.77^2}{2 \cdot 9.81} = 0.08$$

Usvaja se vrednost gubitka pritiska u sifonskom vodu od $\Delta h_{12} = 0.08 \text{ m}$.

Slika 100 - Sifonski cevovod za primarni taložnik



Kota maksimalnog nivoa vode u bioaeracionom bazenu iznosi:

$$\begin{aligned} \nabla RG &= \nabla PT + \Delta h_{12} = \nabla PT + 0.08 \text{ m} \\ \nabla RG &= \nabla R + 5.75 \text{ m} \end{aligned}$$

– Proračun kanala od merača protoka do raspodelne građevine RG 1

Maksimalno očekivana količina vode u kanalu je $Q_{\max}^h = 0.4333 \text{ m}^3/\text{s}$.

Usvojen je kanal širine $B = 800 \text{ mm}$ i dužine $L = 10.00 \text{ m}$. Za navedene parametre i linijski pad kanala od $i = 1\text{‰}$, normalna dubina kanala - h_0 se proračunava iz izraza za maksimalni protok kanalom.

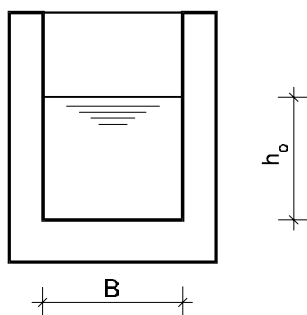
$$Q_{\max}^h = \frac{1}{n} \cdot i^{1/2} \cdot \frac{[B \cdot h_0]^{5/3}}{[B + 2 \cdot h_0]^{2/3}}$$

Vrednost koeficijenta hrapavosti kanala, za kanal od betona, usvaja se iz tablica. Za proračun smo usvojili ugačani beton ($n = 0.011$), pa je vrednost iz izraza $\frac{1}{n} (\text{m}^{1/3}/\text{s}) = 90$.

Zamenom vrednosti u gornjoj relaciji se dobija da je normalna dubina kanala:

$$h_0 = 0.514 \text{ m}$$

Slika 101 - Poprečni presek



Usvaja se, za maksimalni protok Q_{\max}^h , normalna dubina kanala od $h_0 = 0.51 \text{ m}$.

Brzina proticaja kroz kanal, za usvojene parametre, iznosi:

$$v = 1.05 \text{ m/s.}$$

Linijski gubitak u kanalu iznosi:

$$\Delta h_L = i \cdot L = 0.001 \cdot 10 \text{ m} = 0.01 \text{ m}$$

Lokalni gubitak na krivini u kanalu iznosi:

$$\Delta h_{\text{lok}} (\text{m}) = \xi \cdot \frac{v^2}{2g} = 0.50 \cdot \frac{1.05^2}{2 \cdot 9.81} = 0.03$$

Ukupan gubitak u kanalu iznosi:

$$\Delta h_{\text{uk}} = \Delta h_L + \Delta h_{\text{Lok}} = 0.01 + 0.03 = 0.04 \text{ m}$$

Dubina vode u kanalu kod RG 1 će biti:

$$H (\text{m}) = h_0 - (\Delta h_{\text{lin}} + \Delta h_{\text{lok}}) = 0.51 - 0.04 = 0.47$$

– Proračun kanala od aerisanog peskolova do merača protoka

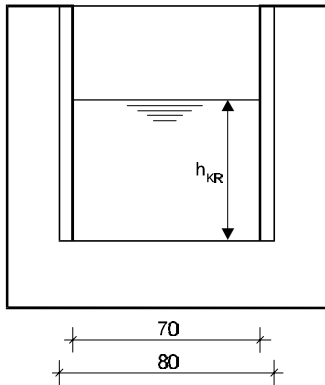
Maksimalno očekivana količina vode u kanalu merača protoka je $Q_{\max}^h = 0.4333 \text{ m}^3/\text{s}$.

Usvojen je kanal širine $B = 800 \text{ mm}$ i dužine $L = 10.00 \text{ m}$. Za navedene parametre linijski pad kanala od $i = 1\text{‰}$, normalna dubina kanala - h_0 se proračunava iz izraza za maksimalni protok kanalom i iznosi:

$$h_0 = 0.51 \text{ m.}$$

Gubitak visine na meraču protoka

Slika 102 - Poprečni presek



Za određivanje kritične dubine u kanalu merača protoka koristi se Frudov broj:

$$F_R = 1 = \frac{Q_{\max}^h \cdot B}{g \cdot A_{kr}^3}$$

$B = 0.7 \text{ m}$ - širina vodenog ogledala

Poprečni presek za kritičnu dubinu iznosi:

$$A_{kr} = 0.7 \cdot h_{kr}$$

$$F_R = 1 = \frac{0.4333^2 \cdot 0.70}{g \cdot (0.70 \cdot h_{kr})^3}$$

$$h_{kr} \text{ (m)} = \frac{\sqrt[3]{\frac{0.4333^2 \cdot 0.70}{g}}}{0.70} = 0.34$$

pa je:

$$A_{kr} = 0.7 \cdot 0.34 = 0.238 \text{ m}.$$

Kritična brzina proticaja iznosi:

$$v_{kr} \text{ (m / s)} = \frac{Q_{\max}^h}{A_{kr}} = \frac{0.4333}{0.238} = 1.82$$

Bernulijeva jednačina za preseke 1-1 i 2-2 iznosi:

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = h_{kr} + \frac{v_{kr}^2}{2 \cdot g} + 0.1 \cdot \frac{v_{kr}^2}{2 \cdot g}$$

$$h_1 + \frac{v_1^2}{2 \cdot g} = 0.34 + 1.1 \cdot \frac{1.82^2}{2 \cdot g} = 0.526 \text{ m}$$

$$h_1 = 0.526 - \frac{v_1^2}{2 \cdot g}$$

$$h_1 \cdot b_1 \cdot v_1 = Q_{\max}^h$$

$$b_1 \text{ (m)} = 0.8$$

$$h_1 \cdot v_1 = \frac{Q_{\max}^h}{b_1} = \frac{0.4333}{0.80} = 0.542$$

$$0.526 \cdot v_1 - \frac{v_1^3}{2 \cdot g} - 0.542 = 0$$

$$v_1 = 1.19 \text{ m / s}$$

Iz prethodnih relacija se dobija da dubina kanala u preseku 1-1, h_1 iznosi:

$$h_1 = 0.455 \text{ m} \approx 0.46 \text{ m}$$

Bernulijeva jednačina za preseke 2-2 i S-S iznosi:

$$h_{kr} + \frac{v_{kr}^2}{2 \cdot g} = h_s + \frac{v_s^2}{2 \cdot g} + 0.15 \cdot \frac{v_s^2}{2 \cdot g}$$

$$h_s + 1.15 \cdot \frac{v_s^2}{2 \cdot g} = h_{kr} + \frac{v_{kr}^2}{2 \cdot g} = 0.51 \text{ m}$$

$$h_s = 0.51 - 1.15 \cdot \frac{v_s^2}{2 \cdot g}$$

$$v_{kr} \cdot A_{kr} = b_3 \cdot h_s \cdot v_s$$

$$h_s \cdot v_s = \frac{v_{kr} \cdot A_{kr}}{b_3} = \frac{1.82 \cdot 0.70 \cdot 0.34}{0.80} = 0.5415$$

$$0.51 \cdot v_s - 1.15 \cdot \frac{v_s^3}{2 \cdot g} - 0.5415 = 0$$

$$v_s = 2.05 \text{ m / s}$$

Iz prethodnih relacija se dobija da dubina kanala - h_s u preseku S-S iznosi:

$$h_s = 0.264 \text{ m} \approx 0.26 \text{ m} < h_{kr} = 0.34 \text{ m}$$

Kritična dubina u preseku 3-3 iznosi:

$$h_{kr3} \text{ (m)} = \sqrt[3]{\frac{Q_{\max}^2}{g \cdot b_3^2}} = \sqrt[3]{\frac{0.4333^2}{g \cdot 0.80^2}} = 0.31$$

Konjugovana spregnuta dubina hidrauličkog skoka - h_s'' u preseku S-S iznosi:

$$h_s'' = \frac{h_s}{2} \cdot \left[\sqrt{1 + 8 \cdot \frac{Q_{\max}^2}{g \cdot b_3^2 \cdot h_s^3}} - 1 \right] = \frac{0.26}{2} \cdot \left[\sqrt{1 + 8 \cdot \frac{0.4333^2}{g \cdot 0.80^2 \cdot 0.26^3}} - 1 \right] = 0.37$$

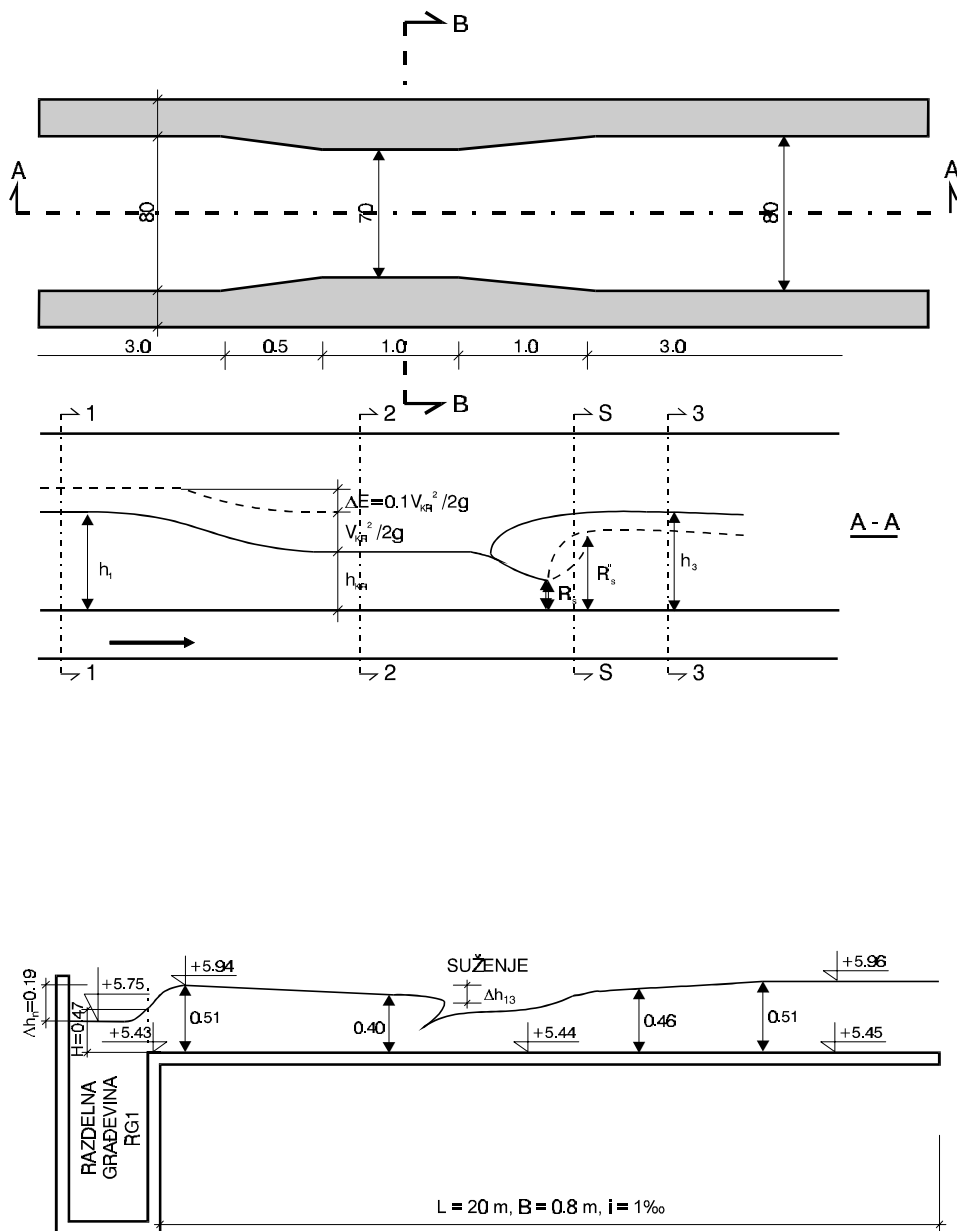
Konjugovana spregnuta dubina mora biti veća od kritične dubine : $h_s'' > h_{kr3}$

Uslov koji osigurava potopljenost hidrauličkog skoka je da dubina - h_3 u preseku 3-3 iznosi: $h_3 \geq 1.1h_s'' = 0.397 \approx 0.40 \text{ m}$

Razlika nivoa - Δh_{13} u prescima 1-1 i 3-3 iznosi:

$$\Delta h_{13}(\text{m}) = 0.46 - 0.40 = 0.06$$

Slika 103 - Merni kanal - osnova i podužni presek



NAPOMENA: Proračun je sproveden za merni kanal kod koga se merenje protoka vrši merenjem dve dubine: h_1 i h_{kr} . U realnim uslovima merenjem ove dve dubine na mernom kanalu dobija se rezultat koji ne zavisi od toga da li je u suženju ostvarena kritična dubina h_{kr} , ili ne. Praksa je pokazala da je postizanje kritične dubine u suženju neizvesno i zavisi od mnogo faktora (način izvođenja, ekstremi protoka, ...).

Ukoliko se ipak želi ostvariti jednoznačna veza između dubine i protok, merenjem samo dubine u suženju, za primer kako se vrši dimenzionisanje, pogledati u Literaturi naznačenu publikaciju pod rednim brojem 44.

– Aerisani peskolov

Hidrauličko opterećenje peskolova zavisi od rada crpne stanice. Maksimalno hidrauličko opterećenje peskolova će biti $Q_{\max}^h = 0.4333 \text{ m}^3/\text{s}$.

Za siguran i efikasan rad peskolova usvaja se za maksimalni protok vreme zadržavanja $t = 4.25 \text{ min}$.

Usvojen je podužni peskolov tip SFbS 6 - 2.4 sledećih karakteristika:

- dužina bazena: $L_p = 17.50 \text{ m}$
- površina: $P_p = 6 \text{ m}^2$
- zapremina: $V_p = 105.00 \text{ m}^3$

Horizontalna brzina vode (prelivna brzina) u peskolovu se dobija iz relacije:

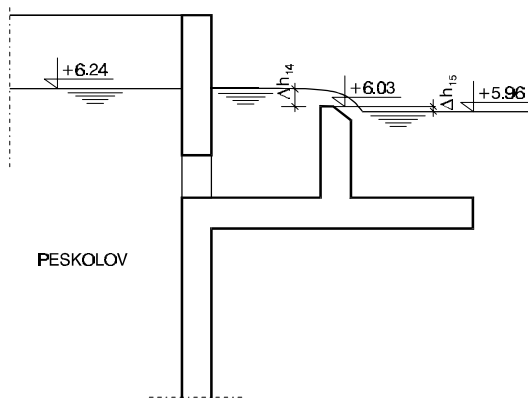
$$v(\text{m / s}) = \frac{Q_{\max}^h}{P_p} = \frac{0.4333}{6.00} = 0.072$$

Proračun visine preliivanja preko prelivne ivice

Dužina prelivne ivice peskolova iznosi $b = 2.40 \text{ m}$. Za koeficijent proticaja $\mu = 0.64$, visina preliivanja iznosi:

$$\Delta h_{14}(\text{m}) = \left(\frac{Q_{\max}^h}{\frac{2}{3} \cdot \mu \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g}} \right)^{2/3} = \left(\frac{0.4333}{\frac{2}{3} \cdot 0.64 \cdot 2.40 \cdot \sqrt{2 \cdot 9.81}} \right)^{2/3} = 0.21$$

Slika 72 - Detalj prelivne ivice peskolova



Kota krune prelivne ivice iznosi $\nabla +6.03 \text{ mmm}$.

Razlika kota krune prelivne ivice peskolova i nivoa vode u kanalu koji vodi ka razdelnoj građevini RG1, Δh_{15} je usvojena i iznosi:

$$\Delta h_{15}(\text{m}) = 0.07$$

Ukupan linijski gubitak na celom kanalu od razdelne građevine do peskolova iznosi:

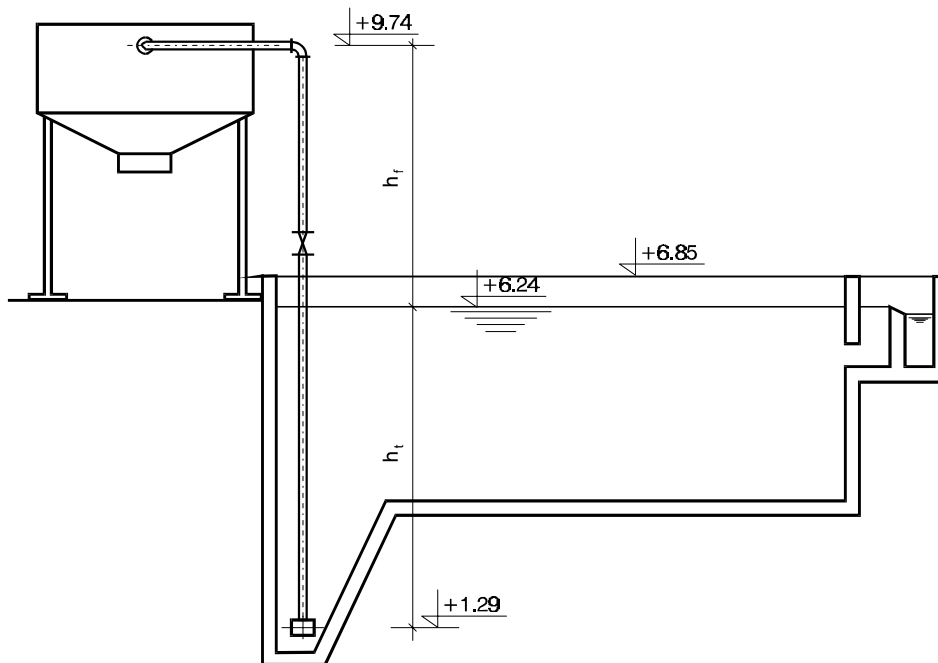
$$\Delta h_L(\text{m}) = i \cdot L = 0.001 \cdot 20 = 0.02$$

Kota nivoa u peskolovu iznosi:

$$\begin{aligned} \sphericalangle \text{ PESK} &= \sphericalangle \text{ RG} + \Delta h_n + \Delta h_L + \Delta h_{14} + \Delta h_{15} = \sphericalangle \text{ RG} + 0.19 + 0.02 + 0.21 + 0.07 = \\ &= \sphericalangle \text{ RG} + 0.49 \text{ m} \\ \sphericalangle \text{ PESK} &= \sphericalangle \text{ R} + 6.24 \text{ m} \end{aligned}$$

k.2. Izbor mamut pumpe za izbacivanje peska iz trihtera u silos

Slika 105 - Mamut pumpa za izbacivanje peska



Usvojena je mamut pumpa MP125. Radne karakteristike usvojene mamut pumpe su:

- dubina urona: $h_t = 4.95 \text{ m}$
- visina dizanja: $h_f = 3.50 \text{ m}$

Odnos visine dizanja prema dubini urona iznosi:

$$h_f : h_t = 3.50 : 4.95 = 0.70$$

Granice navedenog odnosa iznose između 0.2-1.2, te izabrana mamut pumpa zadovoljava ovaj kriterijum.

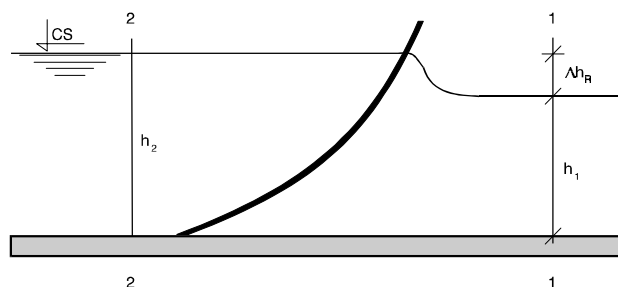
Usvojena brzina dizanja mamut pumpe od $v = 1.00 \text{ m/sec}$. Kapacitet mamut pumpe iznosi $Q_{AP} = 0.012 \text{ m}^3/\text{sec}$.

– Automatska lučna rešetka

Kota nivoa vode u kanalu iza crpne stanice je jednaka koti peskolova - ∇ -PESK, uvećanoj za hidraulički gubitak na automatskoj rešetki - $\Delta h = \Delta h_R$.

$$\nabla\text{-CS} = \nabla\text{-PESK} + \Delta h$$

Šema automatske rešetke u preseku prikazana je na slici 16.



Bernulijeva jednačina za dva preseka, presek 1-1 i presek 2-2, glasi:

$$h_2 + \frac{v_2^2}{2g} = h_1 + \frac{v_1^2}{2g} + \Delta h$$

$$\Delta h = h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} - h_1 - \frac{v_1^2}{2 \cdot g} \quad 1.$$

Jednačina kontinuiteta za presek kroz rešetku glasi:

$$v_2 \cdot A_2 = Q_{\max}^h$$

$$v_2 \cdot h_2 \cdot n \cdot b \cdot K_R = Q_{\max}^h \quad 2.$$

n - broj otvora

b - širina otvora (razmak između šipki)

K_R - koeficijent kontrakcije

Broj otvora na rešetki zavisi od širine kanala - $B=0.80$ m, razmaka između šipki - $b=0.02$ m i debljine šipke rešetke - $\delta=0.01$ m. Za usvojene vrednosti broj šipki iznosi:

$$n = \frac{B}{\delta + b} = \frac{0.80}{0.01 + 0.02} = 26.7$$

Usvaja se potreban broj šipki od $n=26$.

Pri određivanju hidrauličkog gubitka na rešetki polazi se od maksimalnog proticaja kroz rešetku.

$$Q_{\max}^h = v_2 \cdot h_2 \cdot n \cdot b \cdot K_R$$

$K_R=0.82$ - koeficijent kontrakcije

$$v_2 \cdot h_2 = \frac{0.4333}{26 \cdot 0.02 \cdot 0.82} = 1.0162$$

$$v_2 \cdot h_2 = (A)$$

Jednačina za hidraulički gubitak na rešetki iznosi:

$$\Delta h = \xi_R \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \quad 3.$$

$$\xi_R = \beta \cdot (\delta / b)^{4/3} \cdot K \cdot \sin \theta$$

β - koeficijent zavistan od oblika poprečnog preseka šipki rešetke (2.42 i prav ugao)

δ - debljina šipke

b - razmak između šipki

K - koeficijent začepljenja rešetke ($K=3$)

θ - ugao nagiba rešetke prema horizontali ($60-90^\circ$)

Iz jednačina (1), (2) i (3) dobijaju se: brzina proticaja - v_2 , visina sloja - h_2 iza lučne rešetke, kao i hidraulički gubitak na lučnoj rešetki - Δh .

1) Transformisana jednačina (1)

$$\Delta h = h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} - h_1 - \frac{v_1^2}{2 \cdot g}$$

$h_1 = h_N = 0.51$ m - normalna dubina kanala

$$v_1 \text{ (m / s)} = \frac{Q_{\max}^h}{A_1} = \frac{0.4333}{0.80 \cdot 0.51} = 1.062$$

$$\Delta h = h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} - 0.51 - \frac{1.062^2}{2 \cdot g}$$

$$(B) = 0.51 + \frac{1.062^2}{2 \cdot g} = 0.5675$$

$$\Delta h = h_2 + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} - (B) \quad 1'$$

2) Transformisana jednačina (2)

$$v_2 \cdot h_2 = (A) \quad 2'$$

3) Transformisana jednačina (3)

$$\Delta h = \xi_R \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g}$$

$$\xi_R = \beta \cdot (\delta / b)^{4/3} \cdot 3 \cdot \sin(90) = 2.42 \cdot (0.01 / 0.02)^{4/3} \cdot 3 \cdot 1 = (C) = 2.881$$

$$\Delta h = (C) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} \quad 3'$$

Zamenom jednačina (3') u (1') dobijaju se relacije:

$$(C) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = h + \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = h_2 - (B)$$

$$[(C) - 1] \cdot \frac{v_2^2}{2g} = h_2 - (B)$$

Zamenom vrednosti h_2 iz jednačine (2') u gornjoj relaciji dobijaju se tražene vrednosti v_2 , h_2 i Δh .

$$h_2 = \frac{(A)}{v_2}$$

$$(C_1) = (C) - 1 = 2.881 - 1 = 1.881$$

$$(C_1) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} = \frac{(A)}{v_2} - (B)$$

$$(C_1) \cdot \frac{v_2^2}{2 \cdot g} - \frac{(A)}{v_2} + (B) = 0$$

Zamenom poznatih vrednosti za (C_1) , (A) i (B) u navedenom izrazu dobija se:
 $v_2 = 1.36$ m/s

Zamenom dobijene vrednosti za v_2 u jednačini (2') dobija se: $h_2 = 0.75$ m

Na kraju, zamenom svih vrednosti u izrazu (1'), ili (3'), dobija se traženi hidraulički gubitak na lučnoj rešetki:

$$\Delta h = 0.27 \text{ m}$$

Kota nivoa vode u kanalu iza crpne stanice iznosi:

$$\nabla \text{CS} = \nabla \text{PESK} + \Delta h = \nabla \text{PESK} + 0.27 \text{ m}$$

$$\nabla \text{CS} = \nabla \text{R} + 6.51 \text{ m}$$

– Crpna stanica za primarno dizanje

U okviru postrojenja za prečišćavanje predviđena je crpna stanica za primarno dizanje sa instaliranim pužnim kanalizacionim pumpama.

Izbor broja crpnih agregata

Maksimalan doticaj otpadne vode, merodavan za dimenzionisanje crpne stanice, iznosi $Q_{\max}^h = 0.4333$ m³/s.

Zbog funkcionalnijeg rada crpne stanice usvajaju se tri pužne pumpe kapaciteta od po 220 l/s (dve radne + jedna rezervna).

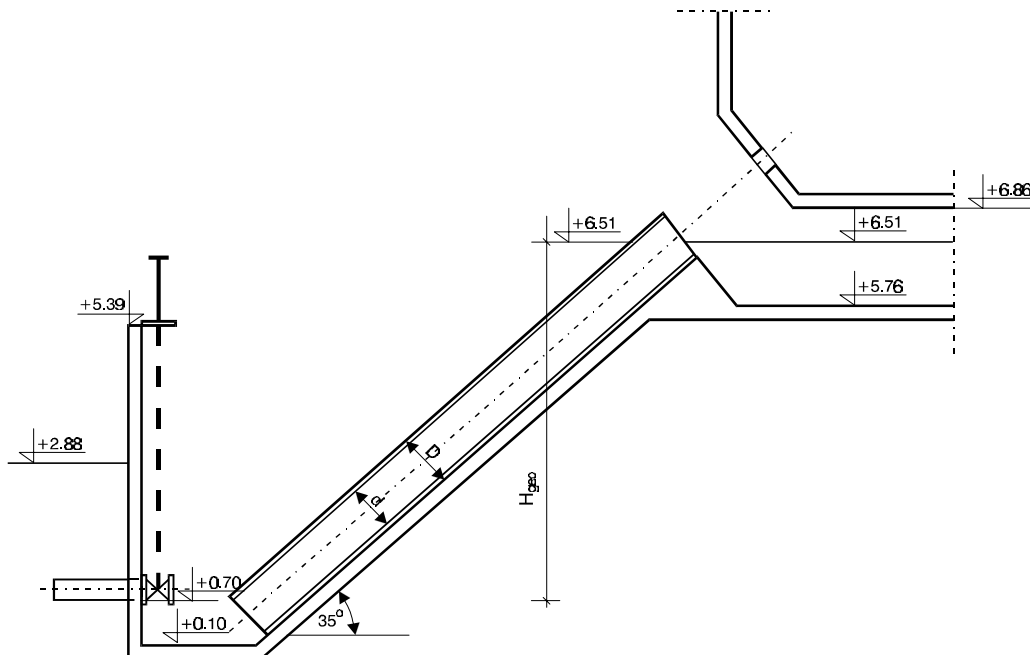
Geodetska visina dizanja

Geodetska visina dizanja H_{GEO} , se određuje kao razlika između kote na koju se podiže voda, u kanalu iza crpne stanice ($\nabla \text{R} + 6.51\text{m}$) i kote radnog nivoa u bazenu crpne stanice ($\nabla \text{R} + 0.70$ m).

$$H_{\text{GEO}} = 6.51 - 0.70 = 5.81 \text{ m}$$

Za podizanje otpadne vode u kanal iza crpne stanice se usvajaju dve pužne pumpe kapaciteta od po $Q_{PP}=220$ l/s, prečnika puža od $D=850$ mm, kao i visine dizanja $H_{GEO}=6.0$ m, koje se postavljaju pod uglom od $\alpha=35^\circ$.

Slika 107 - Crpna stanica za primarno dizanje



Kako od transportnog kanala otpadna voda gravitaciono protiče kroz postrojenje, može se uzeti kao referentni nivo postrojenja (relativna kota $\nabla=0.00$).

– Raspodela kota na liniji vode

Kada se za relativnu kotu ± 0.00 usvoji kota na kojoj je potrebno prepumpati vodu na ulazu u postrojenje, tada se dobija sledeća raspodela kota objekata i postrojenja:

referentna kota (kanal iza crpne stanice):	∇ CS = (+6.51)	$\Rightarrow \pm 0.00$ m
kota peskolova:	∇ PESK = (+6.24)	$\Rightarrow - 0.27$ m
kota razdelne građevine RG-1:	∇ RG = (+5.75)	$\Rightarrow - 0.76$ m
kota primarnih taložnika:	∇ PT = (+5.67)	$\Rightarrow - 0.84$ m
kota bioloških bazena:	∇ BB = (+5.15)	$\Rightarrow - 1.36$ m
kota naknadnih taložnika:	∇ NT = (+4.60)	$\Rightarrow - 1.91$ m
kota tercijalnog prečišćavanja:	∇ TP = (+4.04)	$\Rightarrow - 2.47$ m
kota lagune:	∇ L = (+3.07)	$\Rightarrow - 3.44$ m
kota recipijenta:	∇ R = (± 0.00)	$\Rightarrow - 6.51$ m

5.4.3. Hidraulički proračun po liniji mulja

Prema tehnološkoj šemi povratni aktivni mulj iznosi 100% u odnosu na otpadnu vodu, pa je količina povratnog mulja u recirkulaciji jednaka Q_{\max}^h i iznosi $Q_{RM} = 0.4333 \text{ m}^3/\text{s}$.

Takođe, prema tehnološkom proračunu usvojena je pumpa za višak mulja kapaciteta od $Q_{MP} = 0.020 \text{ m}^3/\text{s}$.

– Proračun sifonskog cevovoda za transport mulja od naknadnog taložnika do crpne stanice za recirkulaciju mulja

Maksimalno očekivana količina povratnog mulja u sifonskom cevovodu od naknadnog taložnika do crpne stanice za recirkulaciju mulja je polovina maksimalnog proticaja mulja $Q_{RM}^* = 0.21665 \text{ m}^3/\text{s}$.

Usvaja se sifonski cevovod prečnika $D = 600 \text{ mm}$ i dužine $L = 22.00 \text{ mm}$. Za navedene vrednosti brzina proticaja iznosi $v = 0.77 \text{ m/s}$.

Gubitak pritiska u sifonskom vodu se izračunava iz izraza:

$$\Delta h_8 = \left(\xi_1 + \xi_2 + \xi_3 + \xi_4 + \lambda \cdot \frac{L}{D} \right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$\xi_1 = 0.50$ - koeficijent lokalnog gubitka na ulazu

$\xi_2 = 3.00$ - koeficijent lokalnog gubitka na zatvaraču

$\xi_3 = 0.22$ - koeficijent lokalnog gubitka na krivini 60°

$\xi_4 = 0.90$ - koeficijent lokalnog gubitka na izlazu

$K = 0.50 \text{ mm}$ - koeficijent hrapavosti

Relativna hrapavost je odnos veličina prečnika cevovoda i koeficijenta hrapavosti. Za koeficijent hrapavosti $K = 0.50 \text{ mm}$, relativna hrapavost iznosi:

$$\frac{D}{K} = \frac{600}{0.50} = 1200$$

$$\text{Re} = \frac{0.600 \cdot 0.77}{1.236 \cdot 10^{-6}} = 3.74 \cdot 10^5$$

$\lambda = 0.022$ - koeficijent linijskog otpora (videti dijagram na slici 90)

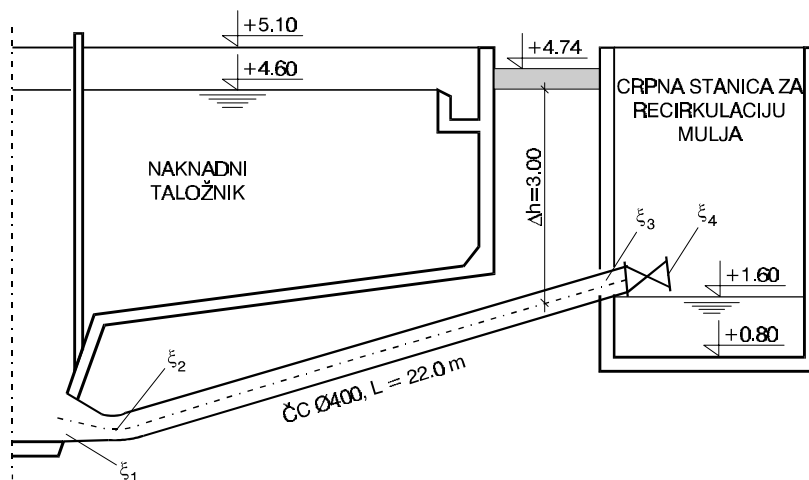
$$\Delta h_{m1} (\text{m}) = \left(0.50 + 0.22 + 3.00 + 0.90 + 0.022 \cdot \frac{22.00}{0.60} \right) \cdot \frac{0.77^2}{2 \cdot 9.81} = 0.16$$

Usvaja se vrednost gubitka pritiska u sifonskom vodu od $\Delta h_{m1} = 0.16 \text{ m}$.

Razlika između nivoa vode u naknadnom taložniku i nivoa mulja u crpnoj stanici za recirkulaciju mulja je $\Delta h_n = 3.00 \text{ m}$, te će biti obezbeđeno normalno isticanje.

Prema hidrauličkom proračunu po liniji vode dobijena je kota u naknadnom taložniku.

Slika 108 - Sifonski cevovod za naknadni taložnik



— Crpna stanica za recirkulaciju mulja

U crpnu stanicu se evakuirše mulj iz oba naknadna taložnika. Tako količina mulja koji se vraća u recirkulaciju iznosi $Q_{RM} = 0.4333 \text{ m}^3/\text{s}$.

Usvajaju se tri pumpe kapaciteta po 220 l/s, (dve radne + jedna rezervna).

Odabrane su pužne pumpe sa dvobrzinskim pogonom kako bi se kapacitet crpne stanice mogao uskladiti sa kapacitetom crpne stanice za primarno dizanje.

Visina dizanja muljnih pumpi se proračunava iz relacije:

$$H_{MAN} = H_{DGEO} + D \cdot \cos \alpha$$

Geodetska visina dizanja iznosi:

$$H_{GEO} = 6.18 - 1.60 = 4.58 \text{ m}$$

Prečnik puža muljne pumpe iznosi $D = 840 \text{ mm}$, a ugao pod kojim se pumpe postavljaju u muljnoj šahti iznosi $\alpha = 35^\circ$. Tako visina dizanja pužnih muljnih pumpi iznosi:

$$H_{MAN} (\text{m}) = H_{GEO} + D \cdot \cos \alpha = 4.58 + 0.84 \cdot \cos 35 = 5.27$$

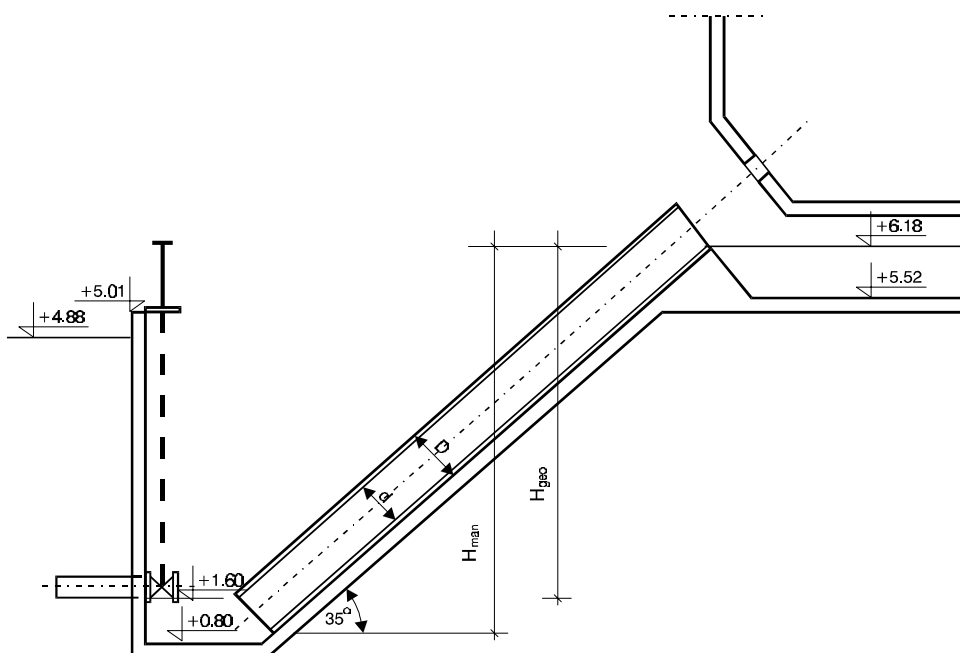
Izabrane su dvobrzinske pužne pumpe sledećih karakteristika:

- kapacitet pumpe: $Q_{MP} = 0.220 \text{ m}^3/\text{s}$
- prečnik puža: $D = 840 \text{ mm}$
- ugao postavke: $\alpha = 35^\circ$
- snaga motora: $N = 15/20 \text{ kW}$
- broj obrtaja: $n = 44/22 \text{ }^\circ/\text{min}$

Kota mulja u crpnoj stanici za recirkulaciju mulja iznosi:

$$\nabla \text{RMCS} = \nabla \text{R} + 1.60 \text{ m}$$

Slika 109 - Crpna stanica za recirkulaciju mulja



– Proračun sabirnog kanala od CS do razdelne građevine RG 2

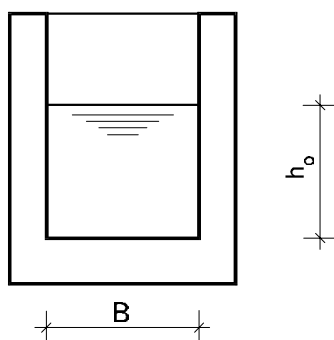
Kanalom od crpne stanice do razdelne građevine RG-2 će se transportovati količina mulja od $Q_{RM} = 0.4333 \text{ m}^3/\text{s}$ u recirkulaciji.

Usvaja se betonski muljni kanal, sa glatko malterisanim betonom, sledećih dimenzija:

- širina kanala: $B = 0.8 \text{ m}$
- dužina kanala: $L = 5.0 \text{ m}$

Usvojen je kanal širine $B = 800 \text{ mm}$ i dužine $L = 5.00 \text{ m}$. Za navedene parametre i linijski pad kanala od $i = 1\text{‰}$, normalna dubina kanala - h_0 se proračunava iz izraza za maksimalni protok kanalom.

Slika 110 - Poprečni presek



$$Q_{RM} = \frac{1}{n} \cdot i^{1/2} \cdot \frac{[B \cdot h_0]^{5/3}}{[B + 2 \cdot h_0]^{2/3}}$$

Vrednost koeficijenta hrapavosti kanala, za kanal od betona, usvaja se iz tablica. Za proračun smo usvojili ugačani beton ($n = 0.011$), pa je vrednost iz izraza $\frac{1}{n} (\text{m}^{1/3}/\text{s}) = 90$.

Zamenom vrednosti u gornjoj relaciji se dobija da je normalna dubina kanala: $h_0 = 0.51 \text{ m}$

Usvaja se, za maksimalni protok Q_{RM} , normalna dubina kanala od $h_0 = 0.51 \text{ m}$.

Brzina proticaja kroz kanal, za usvojene parametre, iznosi $v = 1.05$ m/s.

Linijski gubitak u kanalu iznosi:

$$\Delta h_L = i \cdot L = 0.001 \cdot 5 \text{ m} = 0.005 \text{ m} \quad 0.01 \text{ m}$$

– **Proračun visine preliivanja na prelivu za višak mulja na sabirnom kanalu od CS do razdelne građevine RG-2**

Za evakuaciju viška mulja iz kanala u količini od $Q_{VM} = 8.35$ l/s usvojen je pravougaoni preliv na sabirnom muljnom kanalu od muljne šahte do razdelne građevine RG-2, preko koga se višak mulja izliva u prelivni muljni šaht, iz koga se cevovodom višak mulja gravitaciono odvodi u muljnu šahtu za višak mulja.

Karakteristike usvojenog preliiva za višak mulja su:

- visina preliivanja: H_0
- koeficijent preliivanja: m
- širina prelivne ivice: $b = 0.3$ m

Iz relacije za maksimalni protok višaka mulja iz muljnog kanala dobija se potrebna visina preliivanja.

$$Q_{VM} = m \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot H_0^{3/2}$$

$$m = \left(0.405 + \frac{0.0027}{H_0} \right)$$

Zamenom izraza za koeficijent preliivanja u gornjoj relaciji dobija se:

$$Q_{VM} = \left(0.405 + \frac{0.0027}{H_0} \right) \cdot b \cdot \sqrt{2 \cdot g} \cdot H_0^{3/2}$$

Tražena visina preliivanja iznosi $H_0 = 0.058$ m.

– **Proračun kanala od razdelne građevine RG-2 do bioloških bazena**

Od razdelne građevine RG-2 do bioloških bazena će se transportovati povratni mulj kroz dva betonska kanala. Očekivana količina povratnog mulja u svakom od kanala iznosi polovinu maksimalne količine mulja u recirkulaciji, pa je proticaj povratnog mulja u jednom kanalu $Q_{RM}^* = 0.21665$ m³/s.

Usvajaju se betonski muljni kanali od glatko malterisanog betona, sledećih dimenzija:

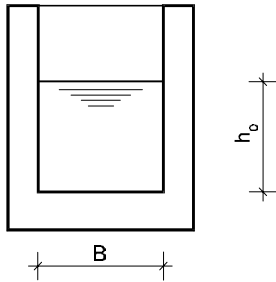
- širina kanala: $B = 0.6$ m
- dužina kanala: $L = 10.0$ m

Usvojeni su kanali širine $B = 600$ mm i dužine $L = 10.00$ m. Za navedene parametre i linijski pad kanala od $i = 1\%$, normalna dubina kanala - h_0 se proračunava iz izraza za maksimalni protok kanalom.

$$Q_{RM}^* = \frac{1}{n} \cdot i^{1/2} \cdot \frac{[B \cdot h_0]^{5/3}}{[B + 2 \cdot h_0]^{2/3}}$$

Vrednost koeficijenta hrapavosti kanala, za kanal od betona, usvaja se iz tablica. Za proračun smo usvojili ugačani beton ($n = 0.011$), pa je vrednost iz izraza $\frac{1}{n} (m^{1/3}/s) = 90$.

Slika 79 - Poprečni presek



Zamenom vrednosti u gornjoj relaciji se dobija da je normalna dubina kanala: $h_0 = 0.41 \text{ m}$

Usvaja se, za maksimalni protok Q_{RM}^* , normalna dubina kanala od $h_0 = 0.41 \text{ m}$.

Brzina proticaja kroz kanal, za usvojene parametre, iznosi:

$$v = 0.88 \text{ m/s}$$

Linijski gubitak u kanalu iznosi:

$$\Delta h_L = i \cdot L = 0.001 \cdot 10 \text{ m} = 0.01 \text{ m}$$

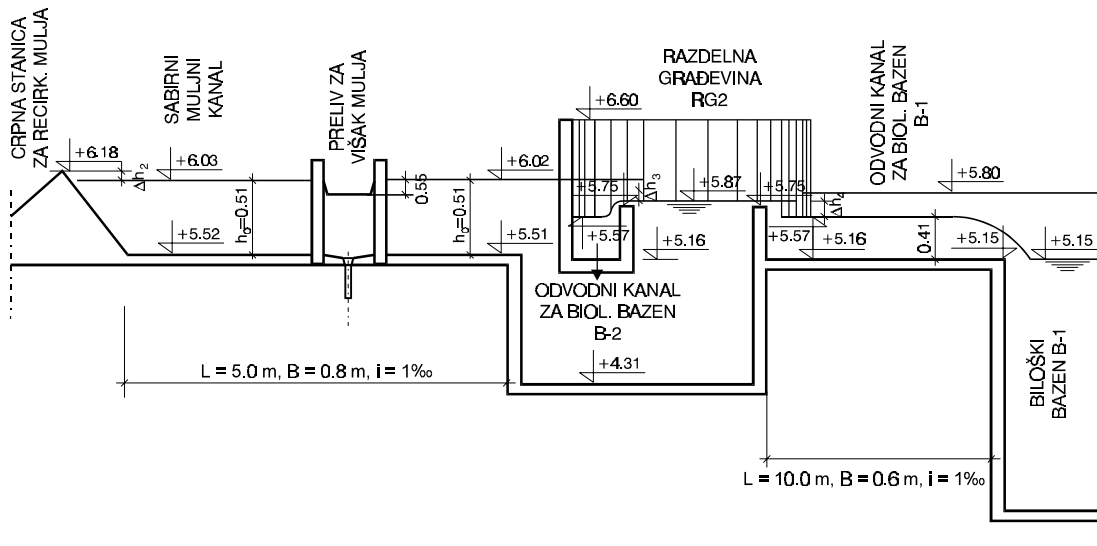
Kota u bioaeracionom bazenu dobijena je iz hidrauličkog proračuna po linije vode.

Ukupan hidraulički gubitak na potezu od crpne stanice za recirkulaciju mulja do biološkog bazena iznosi:

$$\Delta h_{uk}(\text{m}) = \Delta h_2 + \Delta h_{1-1} + \Delta h_3 + \Delta h_4 + \Delta h_{1-2} + h_0 = 0.15 + 0.01 + 0.15 + 0.30 + 0.01 + 0.41 = 1.03$$

Ova vrednost će biti dovoljna da se obezbedi normalno tečenje mulja kanalom.

Slika 112 - Razdelna građevina



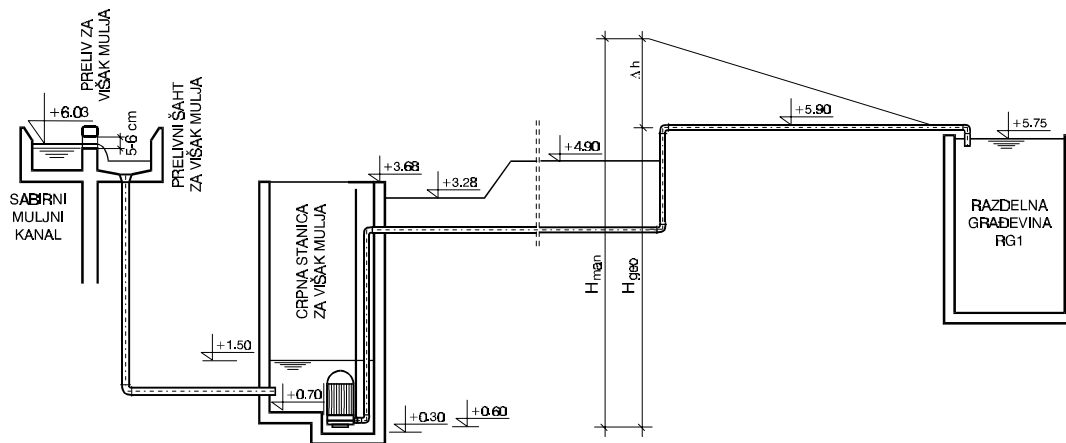
– Proračun crpne stanice za višak mulja

Višak mulja, evakuisan preko preliva za višak mulja na sabirnom kanalu, se iz prelivnog miljnog šahta gravitaciono cevovodom odvodi u crpnu stanicu za višak mulja.

Za prepumpavanje viška mulja od crpne stanice do razdelne građevine RG-1 usvajaju se dve centrifugalne kanalizacione pumpe (jedna radna + jedna rezervna).

Kapacitet usvojenih centrifugalnih muljnih pumpi za transport viška mulja iznosi $Q_{MP} = 0.020 \text{ m}^3/\text{s}$.

Slika 113 - Crpna stanica za višak mulja



Slika 21

Visina dizanja muljnih pumpi se proračunava iz relacije:

$$H_{MAN} = H_{GEO} + \Delta h_{VMP}$$

Geodetska visina dizanja iznosi:

$$H_{GEO} = 5.90 - 0.60 = 5.30 \text{ m}$$

Ukupni linijski i lokalni gubici u potisnom vodu centrifugalne muljne pumpe - Δh_{VMP} (m), a određuju se iz relacije:

$$\Delta h_{VMP} = \left(\zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 + \zeta_4 + \zeta_5 + \lambda \cdot \frac{L}{D} \right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$\zeta_1 = 1.00$ - koef. lokalnog gubitka na ulazu

$\zeta_2 = 0.66$ - koef. lokalnog gubitka za koleno 90°

$\zeta_3 = 1.30$ - koef. lokalnog gubitka za povratnu klapnu

$\zeta_4 = 3.00$ - koef. lokalnog gubitka na ventilu

$\zeta_5 = 1.00$ - koef. lokalnog gubitka na izlazu

$L = 90 \text{ m}$ - dužina potisnog voda

$D = 150 \text{ mm}$ - prečnik potisnog voda

$k = 0.1 \text{ mm}$ - koeficijent hrapavosti

Koeficijent linijskog otpora $\lambda = f(Re, D/K)$ se određuje grafički sa dijagrama 1, u zavisnosti od vrednosti Re i odnosa D/K .

Za izračunatu vrednost $Re = 1.44 \times 10^5$, kao i za odnos $D/K = 1500$, dobija se sa dijagrama 1 vrednost za koeficijent linijskog otpora $\lambda = 0.020$.

BILANSI I PRORAČUNI

Za usvojeni maksimalni kapacitet pumpe za evakuaciju viška mulja od $Q_{MP} = 0.020 \text{ m}^3/\text{s}$ dobija se brzina proticaja mulja kroz cevovod vrednosti $v=1.11\text{m/s}$.

Zamenom svih navedenih parametara u izrazu za ukupne linijske i lokalne gubitke dobijamo vrednost Δh :

$$\Delta h_{VMP} \text{ (m)} = \left(1.00 + 7 \cdot 0.66 + 1.30 + 3.00 + 1.00 + 0.020 \cdot \frac{90.0}{0.15} \right) \cdot \frac{1.11^2}{2 \cdot 9.81} = 1.44$$

Sada je potrebna visina dizanja muljnih pumpi jednaka:

$$H_{MAN} \text{ (m)} = H_{GEO} + \Delta h_{VMP} = 5.30 + 1.44 = 6.74$$

Prema provedenom proračunu usvojaju su kanalizacione jednokanalne uronjene pumpe FUP -"Jastrebac"-Niš sledećih karakteristika:

- tip pumpe: 1.100-250/4 B
- kapacitet: $Q_{MP} = 20 \text{ l/s}$
- visina dizanja: $H = 8.50 \text{ m}$
- snaga motora: $N = 5.5 \text{ kW}$

Postavljaju se dve centrifugalne muljne pumpe (jedna radna +jedna rezervna).

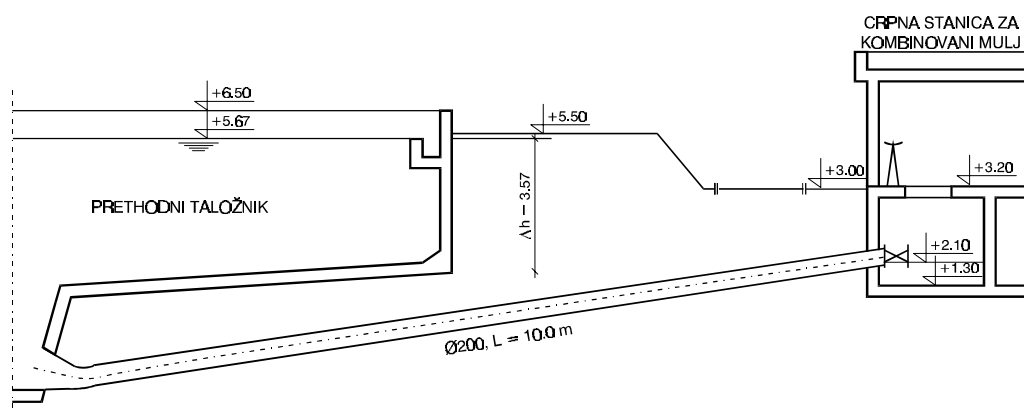
Kota u bazenu crpne stanice za višak mulja iznosi:

$$\nabla \text{ VMCS} = \nabla \text{ R} + 1.50 \text{ mm}$$

– Proračun sifonskog voda od prethodnog taložnika do crpne stanice

Sifonskim cevovodom se može transportovati višak mulja centrifugalnom muljnom pumpom maksimalnog usvojenog kapaciteta $Q_{MP} = 0.020 \text{ m}^3/\text{s}$.

Slika 114 - Sifonski cevovod od prethodnog taložnika do crpne stanice



U primarnom taložniku se izdvaja kombinovani mulj, koji je sastavljen od primarnog mulja, koji ulazi sa otpadnom vodom i viška aktivnog mulja, koji se vraća sa naknadnog taložnika.

Za kombinovani mulj se usvaja centrifugalna muljna pumpa istog kapaciteta kao za višak mulja, pa je usvojeni maksimalni kapacitet kombinovanog mulja $Q_{MP} = 0.020 \text{ m}^3/\text{s}$.

Za transport kombinovanog mulja usvaja se sifonski cevovod, dužine $L = 10.00$ m, prečnika cevi $D = 200$ mm.

Na bazi kapaciteta transporta i preseka cevi dobija se brzina proticaja kombinovanog mulja kroz cevovod od $v = 0.64$ m/s. Usvojeni koeficijent hrapavosti cevi je $k = 0.5$ mm.

Za izračunatu vrednost $Re = 1.10 \times 10^5$, kao i za odnos $D/K=400$, dobija se sa dijagrama 1 vrednost za koeficijent linijskog otpora $\lambda = 0.026$.

Za usvojeni maksimalni kapacitet pumpe za evakuaciju kombinovanog mulja od $Q_{MP}=0.020$ m³/s dobija se brzina proticaja mulja kroz cevovod vrednosti $v=0.64$ m/s.

Ukupni linijski i lokalni gubici u sifonskom cevovodu - Δh (m), a određuju se iz relacije:

$$\Delta h = \left(\zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 + \zeta_4 + \lambda \cdot \frac{L}{D} \right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

$\zeta_1 = 0.50$ - koef. lokalnog gubitka na ulazu

$\zeta_2 = 0.22$ - koef. lokalnog gubitka za koleno 60°

$\zeta_3 = 3.00$ - koef. lokalnog gubitka na zatvaraču

$\zeta_4 = 1.00$ - koef. lokalnog gubitka na izlazu

$$\Delta h(m) = \left(0.50 + 0.22 + 3.00 + 1.00 + 0.026 \cdot \frac{10.00}{0.20} \right) \cdot \frac{0.64^2}{2 \cdot 9.81} = 0.13$$

Razlika između nivoa mulja u prethodnom taložniku i nivoa mulja u crpnoj stanici je $\Delta h_n = 3.57$ m, što omogućava normalno isticanje.

Kota u primarnom taložniku je dobijena iz hidrauličkog proračuna po liniji vode.

Kota u bazenu crpne stanice za crpljenje kombinovanog mulja iz prethodnog taložnika na prethodni ugušćivač je:

$$\nabla \text{MCS} = \nabla \text{R} + 2.10 \text{ m}$$

– **Proračun crpne stanice za crpljenje kombinovanog mulja na prethodni ugušćivač**

Kombinovani mulj iz zajedničke crpne stanice za oba primarna taložnika se evakuiše na prethodni ugušćivač periodično.

Za evakuaciju se koriste potopljene jednokanalne centrifugalne muljne pumpe. Radi ravnomernosti rada, kao i problema sa održavanjem opreme, za evakuaciju kombinovanog mulja se usvajaju dve centrifugalne muljne pumpe (jedna radna+jedna rezervna), kao i kod prethodnih prepumpavanja na liniji mulja.

Prema usvojenom kriterijumu se kanalizacione jednokanalne uronjene pumpe FUP - "Jastrebac"-Niš sledećih karakteristika:

— tip pumpe:	1.100-250/4 B
— kapacitet:	$Q_{MP} = 20$ l/s
— visina dizanja:	$H = 8.50$ m
— snaga motora:	$N = 5.5$ kW

Postavljaju se dve centrifugalne muljne pumpe (jedna radna+jedna rezervna).

Visina dizanja muljnih pumpi se proračunava iz relacije:

$$H_{MAN} = H_{GEO} + \Delta h_{KM}$$

Geodetska visina dizanja iznosi:

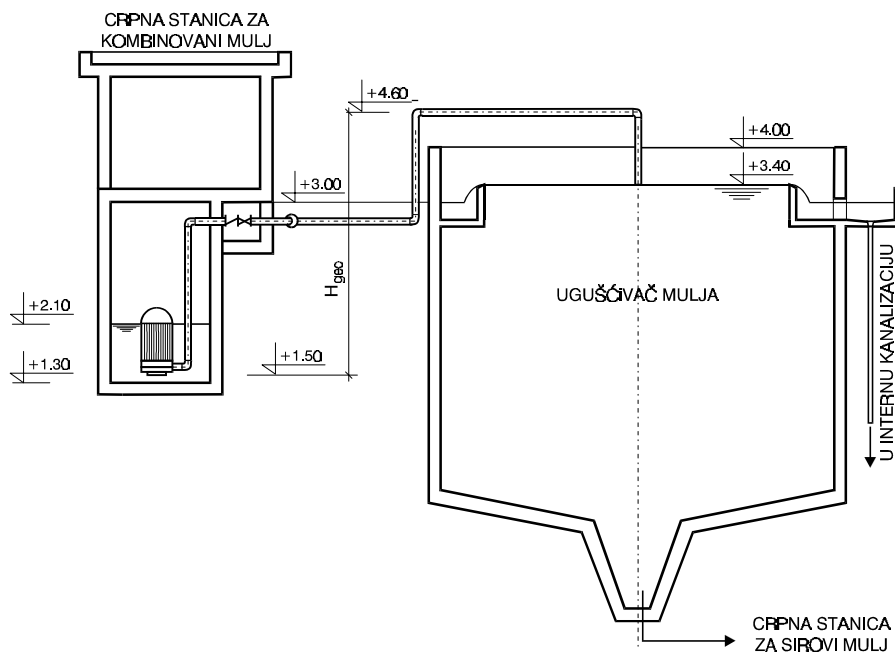
$$H_{\text{GEO}} = 4.60 - 1.50 = 3.10 \text{ m}$$

Ukupni linijski i lokalni gubici u potisnom vodu centrifugalne muljne pumpe - Δh_{KM} (m), a određuju se iz relacije:

$$\Delta h_{\text{km}} = \left(\zeta_1 + \zeta_2 + \zeta_3 + \zeta_4 + \zeta_5 + \lambda \cdot \frac{L}{D} \right) \cdot \frac{v^2}{2 \cdot g}$$

- $\zeta_1 = 1.00$ - koef. lokalnog gubitka na ulazu
- $\zeta_2 = 0.66$ - koef. lokalnog gubitka za koleno 90°
- $\zeta_3 = 1.30$ - koef. lokalnog gubitka za povratnu klapnu
- $\zeta_4 = 3.00$ - koef. lokalnog gubitka na zatvaraču
- $\zeta_5 = 1.00$ - koef. lokalnog gubitka na izlazu
- $L = 40 \text{ m}$ - dužina potisnog voda
- $D = 150 \text{ mm}$ - prečnik potisnog voda
- $k = 0.1 \text{ mm}$ - koeficijent hrapavosti

Slika 115 - Transport kombinovanog mulja na primarno ugušćavanje



Koeficijent linijskog otpora $\lambda = f(\text{Re}, D/K)$ se određuje grafički sa dijagrama 1, u zavisnosti od vrednosti Re i odnosa D/K .

Za izračunatu vrednost $\text{Re} = 1.44 \times 10^5$, kao i za odnos $D/K = 1500$, dobija se sa dijagrama 1 vrednost za koeficijent linijskog otpora $\lambda = 0.020$.

Za usvojeni maksimalni kapacitet pumpe za evakuaciju viška mulja od $Q_{\text{MP}} = 0.020 \text{ m}^3/\text{sec}$ dobija se brzina proticaja mulja kroz cevovod vrednosti $v = 1.11 \text{ m/s}$.

Zamenom svih navedenih parametara u izrazu za ukupne linijske i lokalne gubitke dobijamo vrednost Δh_{km} :

$$\Delta h_{VMP} \text{ (m)} = \left(1.00 + 6 \cdot 0.66 + 1.30 + 3.00 + 1.00 + 0.020 \cdot \frac{40.0}{0.15} \right) \cdot \frac{1.11^2}{2 \cdot 9.81} = 0.98$$

Sada je potrebna visina dizanja muljnih pumpi jednaka:

$$H_{MAN} \text{ (m)} = H_{GEO} + \Delta h_{VMP} = 3.10 + 0.98 = 4.08$$

Izabrane pumpe odgovaraju zahtevanim hidrauličkim parametrima.

Kota u bazenu crpne stanice za kombinovani mulj iznosi:

$$\nabla \text{VCSKM} = \nabla \text{R} + 3.40 \text{ mm}$$

Nadmuljna voda iz primarnog ugušćivača u količini od $Q_{NV-I} = 84.09 \text{ m}^3$ na dan, evakuise se preko obodnog prelivnog kanala u internu kanalizaciju na postrojenju.

Interna kanalizacija na celom postrojenju se evakuise u crpnu stanicu za primarno dizanje.

– Ostali objekti u liniji mulja

Sa primarnim ugušćivačem mulja se završava linija pada hidrauličkih gubitaka duž toka mulja.

Svi ostali uređaji su nezavisno postavljeni, a evakuacija mulja između njih se vrši pomoću muljnih pumpi, centrifugalnog i vijčanog mono tipa.

Otpadne vode, nadmuljna voda u ugušćivačima i ocedna voda od presa, evakuise se preko preliva na ugušćivačima, odnosno preko sabirnog korita ispod trake kod prese, a zatim se odvođe u internu kanalizaciju na postrojenju.

Dimenzionisanje i proračunavanja ovih odvodnih vodova, koji su kombinacija kratkih cevovoda i kanalizacionih kanala, spada u odvojeni projekat u okviru projektne dokumentacije postrojenja (Projekat interne kanalizacije na postrojenju).

U ostale objekte u liniji mulja spadaju:

- crpna stanica za primarno ugušćeni sirovi mulj
- anaerobni digester AD-I
- crpna stanica za primarno prevreli mulj
- anaerobni digester AD-II
- sifonski cevovod za prevreli mulj
- naknadni ugušćivač za prevreli mulj
- crpna stanica za prevreli mulj
- trakasta muljna presa
- traka za evakuaciju presovanog mulja
- kontejner za mulj

Crpna stanica za primarno ugušćeni sirovi mulj

Crpna stanica za primarno ugušćeni sirovi mulj služi za evakuaciju primarno ugušćenog sirovog mulja iz primarnog ugušćivača u anaerobni digester AD-I.

Dnevni kapacitet prepumpavanja iznosi $Q_{SM} = 100.91 \text{ m}^3$ na dan.

Pumpa radi periodično, u vremenskom intervalu koji omogućava da se dopuni u anaerobnom digesteru AD-I prethodno evakuisana količina primarno prevrelog mulja.

Dinamika rada pumpe se mora usaglasiti sa dinamikom rada anaerobnog digestora AD-I.

Kako dalji hidraulički proračun pojedinačnih nezavisno postavljenih objekata neće biti prezentiran, daće se samo odrednice za projektovanje:

- potreban kapacitet pumpi (jedna radna+jedna rezervna): $Q_{SM} = 20 \text{ l/s}$
- potrebna visina dizanja na anaerobni digester AD-I: $H_{MAN} \approx 10 \text{ m}$
- potrebna dužina cevovoda: $l_{uk} \approx l_p + 20 \text{ m}$
(l_p - rastojanje od crpne stanice do digestora AD-I)

Svi potrebni detalji se mogu videti na crtežu slika 23, na objektu crpne stanice za kombinovani mulj, sa kojom je crpna stanica za sirovi mulj slična.

Crpna stanica za primarno prevreli mulj

Crpna stanica za primarno prevreli mulj služi za evakuaciju primarno prevrelog mulja iz anaerobnog digestora AD-I u anaerobni digester AD-II.

Dnevni kapacitet prepumpavanja iznosi $Q_{SM} = 100.91 \text{ m}^3$ na dan.

Pumpa radi periodično, u vremenskom intervalu koji omogućava da se dopuni u anaerobnom digesteru AD-II prethodno evakuisana količina prevrelog mulja.

Dinamika rada pumpe se mora usaglasiti sa dinamikom rada anaerobnog digestora AD-II.

Kako dalji hidraulički proračun pojedinačnih nezavisno postavljenih objekata neće biti prezentiran, daće se samo odrednice za projektovanje:

- potreban kapacitet pumpi (jedna radna+jedna rezervna): $Q_{SM} = 20 \text{ l/s}$
- potrebna visina dizanja na anaerobni digester AD-II: $H_{MAN} \approx 10 \text{ m}$
- potrebna dužina cevovoda: $l_{uk} \approx l_p + 20 \text{ m}$
(l_p - rastojanje od crpne stanice do digestora AD-II)

Svi potrebni detalji se mogu videti na crtežu slika 23, na objektu crpne stanice za kombinovani mulj, sa kojom je crpna stanica za primarno prevreli mulj slična.

Sifonski cevovod za prevreli mulj

Sifonski cevovod za prevreli mulj služi za evakuaciju prevrelog mulja iz anaerobnog digestora AD-II u naknadni ugušćivač.

Dnevni kapacitet evakuacije iznosi $Q_{SM} = 100.91 \text{ m}^3$ na dan.

Sifonski cevovod radi periodično, u vremenskom intervalu koji omogućava da se dopuni u naknadnom ugušćivaču prethodno evakuisana količina naknadno ugušćenog prevrelog mulja. Za regulaciju se koristi automatski cevni ventil.

Dinamika rada automatskog cevnog ventila se mora usaglasiti sa dinamikom rada naknadnog ugušćivača.

Svi potrebni detalji se mogu videti na crtežu slika 22, na objektu sifonskog cevovoda za kombinovani mulj, sa kojom je sifonski cevovod za prevreli mulj sličan.

Naknadni ugušćivač za prevreli mulj

Naknadni ugušćivač je, kako po kapacitetu, tako i po svim ostalim građevinskim i mašinsko-tehničkim karakteristikama identičan primarnom ugušćivaču, pa se ceo proračun za primarni ugušćivač sirovog mulja može primeniti za naknadni ugušćivač prevrelog mulja.

Crpna stanica za naknadno ugušćeni prevreli mulj

Crpna stanica za naknadno ugušćeni prevreli mulj služi za evakuaciju ugušćenog prevrelog mulja iz naknadnog ugušćivača u dozator za napajanje trakastih filter presa.

Dnevni kapacitet prepumpavanja iznosi $Q_{SM} = 70.6 \text{ m}^3$ na dan.

Za prepumpavanje se koriste vijčane mono pumpe (jedna radna + jedna rezervna).

Pumpa radi periodično, u vremenskom intervalu koji je propisan za dnevni kapacitet prese.

Dinamika rada pumpe se mora usaglasiti sa dinamikom rada trakste filter prese za mulj.

Svi potrebni detalji se mogu videti na crtežu slika 23, na objektu crpne stanice za kombinovani mulj, sa kojom je crpna stanica za naknadno ugušćeni prevreli mulj slična u građevinskom delu, dok je tip pumpe i postavka pumpe potpuno drugačija (vijčana mono pumpa se nalazi postavljena u zgradi objekta trakastih filter presa, a povezana je usisnim cevovodom sa crpnom stanicom za naknadno ugušćeni prevreli mulj).

P O G L A V L J E I V
POSTROJENJA ZA PREČIŠĆAVANJE

1. POSTROJENJA ZA PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA U SRBIJI

1.1. Postrojenje "Banja" - Arandjelovac

1.1.1. Opšti podaci o postrojenju

Postrojenje za prečišćavanje kanalizacionih otpadnih voda "Banja" - Arandjelovac se nalazi na građevinskom zemljištu ispred grada Arandjelovca, u ataru sela Banja, sa desne strane izlaznog magistralnog puta Arandjelovac-Topola-Mladenovac, iz pravca grada Arandjelovca. Postrojenje je poslednji građevinski objekat na tom delu iz pravca Arandjelovca, a od postrojenja pa nadalje se nalazi ratarsko obradivo zemljište. Od magistralnog puta do kapije ograđenog kompleksa postrojenja je postavljena interna saobraćajnica.

Postrojenje je locirano u industrijskoj zoni, ispod objekata servisa "Autoprevoz"-Čačak i pogona kisele vode i bezalkoholnih pića "Knjaz Miloš".

Postrojenje je izgrađeno krajem 1989. godine, kada je pušteno u probni rad. Uočeni nedostaci su otklanjani tokom sledeće dve godine, da bi postrojenje bilo uključeno u redovnu eksploataciju 1991. godine.

Postrojenje je urađeno po projektu "Unioninvesta" iz Sarajeva. Elektro-mašinske radove i montažu opreme na postrojenju je izvršila MIN iz Niša. Građevinske radove na postrojenju je izvela lokalna građevinska operativa iz Arandjelovca.

Na postrojenju se prečišćavaju kanalizacione vode grada Arandjelovca, koje obuhvataju komunalne otpadne vode i industrijske otpadne vode većine industrijskih objekata grada Arandjelovca, od kojih po kvalitetu i kvantitetu dominiraju "Knjaz Miloš" i "Šamot".

Deo industrijskih objekata ima postrojenja za predtretman industrijskih otpadnih voda, pre upuštanja u kanalizacioni sistem. Ova postrojenja ne rade kontinuirano, pa povremeno na postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda dolazi netretirana industrijska otpadna voda. Tako postrojenje prerađuje mešane komunalne i industrijske otpadne vode, sa nižim stepenom predtretmana industrijskih otpadnih voda.

Recipijent za efluent, tretiranu otpadnu vodu iz postrojenja, je reka Kubršnica, koja prolazi u neposrednoj blizini kompleksa postrojenja. Reka Kubršnica je kategorisana kao voda IV kategorije.

1.1.2. Kapacitet postrojenja

Postrojenje za prečišćavanje kanalizacionih otpadnih voda "Banja"- Arandjelovac je projektovano za prečišćavanje mešanih komunalnih i predtretiranih industrijskih otpadnih voda.

Postrojenje je zamišljeno kao paralelna postavka dva biološka postrojenja za aerobnu obradu otpadne vode aktivnim muljem, sa zajedničkim ulaznim i izlaznim uređajima. Izgradnja postrojenja je zamišljena u dve faze:

- I faza - ulazni objekti i uređaji za kompletno postrojenje
- biološko postrojenje za polovinu planiranog kapaciteta
- izlazni objekti i uređaji za kompletno postrojenje

II faza - biološko postrojenje za polovinu planiranog kapaciteta

Planirani kapacitet bioloških postrojenja iznosi 2×25 000 ES.

U I fazi su izgrađeni objekti i postavljeni uređaji za mehanički tretman kanalizacionih voda, separaciju kombinovanog primarnog i aktivnog mulja, tretman viška mešanog primarnog i aktivnog mulja i evakuaciju efluenta za 50 000 ES, a objekti i uređaji za biološku obradu otpadnih voda i stabilizaciju mulja za 25 000 ES.

Izgrađena i u funkciji je I faza postrojenja, dok je za II fazu (dupliranje kapaciteta) planiran i odvojen prostor za izgradnju objekata.

Planirano hidrauličko opterećenje postrojenja iznosi 160 l/s, a eksploataciono hidrauličko opterećenje postavljenog postrojenja iznosi od 80-100 l/s mešane komunalne i industrijske otpadne vode.

Odnos komunalnih i industrijskih otpadnih voda u mešanim kanalizacionim vodama nije izdefinisano.

Maksimalno hidrauličko opterećenje se javlja u špicevima potrošnje vode, od 07-09^h, od 15-17^h i od 22-02^h.

Kako se ovi maksimumi poklapaju sa komunalnim špicevima potrošnje vode u domaćinstvima, može se zaključiti da je udeo komunalnih otpadnih voda, u mešanim kanalizacionim vodama koje dolaze na postrojenje, značajno veći od udela industrijskih otpadnih voda.

1.1.3. Tehnologija prečišćavanja

Postrojenje za prečišćavanje kanalizacionih otpadnih voda "Banja"- Arandelovac je projektovano za prečišćavanje mešanih komunalnih i predtretiranih industrijskih otpadnih voda.

Projektovana i postavljena tehnologija prečišćavanja je tehnologija aerobne obrade otpadnih voda aktivnim muljem sa aerobnom stabilizacijom mulja.

Projektovana i postavljena tehnologija prečišćavanja bazira na zajedničkom aerobnom tretmanu otpadne vode i otpadnog mulja, koji se razdvajaju pre evakuacije, tretirana otpadna voda se odvodi u recipijent, reku Kubršnicu, a stabilizovani otpadni mulj, posle kondicioniranja se evakuše na obradive površine.

Projektovana i postavljena tehnologija prečišćavanja se sastoji od sledećih operacija:

- primarna obrada
- sekundarna obrada
- evakuacija tretirane otpadne vode
- kondicioniranje i evakuacija mulja

– **Primarna obrada**

Primarna obrada se sastoji od mehaničke obrade kanalizacione otpadne vode. U okviru primarne obrade su postavljeni sledeći postupci:

- gruba separacija komadnog čvrstog otpada
- fina separacija komadnog čvrstog otpada
- separacija peska

Transport kanalizacione vode, od ulivne građevine do separacije peska se vrši kanalima, a od separacije peska do biološke obrade cevovodom.

Od postavljenih objekata i uređaja u okviru primarne obrade se nalaze:

- 1) **ulivna građevina** - ukopani šaht sa ručnom grubom ravnom rešetkom, otvora rešetke od 70 mm (montaža MIN-Niš), ispred koga je postavljen bajpas odvod, za slučaj potrebe isključivanja objekta iz funkcije, pri intervenciji na instaliranoj opremi

- 2) **pumpna stanica** - dve otvorene pužne pumpe za podizanje grubo separisane kanalizacione otpadne vode, dve šneke sa sopstvenim pogonom koritom i pogonom elektromotorima na vrhu šneka, kapaciteta 2×160 l/s (proizvodnja "Mengesh"-Slovenija)
- 3) **fini separator** - automatska lučna rešetka sa rotacionim čistačem i trakom za evakuaciju otpada, otvora rešetke od 20 mm, postavljena na transportnom kanalu u okviru zatvorenog građevinskog objekta, u okviru koga se nalazi gornji deo pužnih pumpi sa elektromotorima (montaža MIN-Niš)
- 4) **separator peska** - kružni, aksijalno postavljeni betonski peskolov sa prelivnom komorom za evakuisani pesak, vazдушnim liftom za evakuaciju peska iz konusnog dna peskolova (mamut pumpa, proizvođač "Sever"-Subotica) sa duvaljkom za vazduh, prihvatnom komorom za drenažu peska, kao i pratećim kontejnerom za prihvat ocedenog peska i evakuaciju peska sa postrojenja

– **Sekundarna obrada**

Sekundarna obrada se sastoji od aerobne biološke obrade kanalizacione otpadne vode i aerobne stabilizacije mulja. U okviru sekundarne obrade su postavljeni sledeći postupci:

- aerobna obrada otpadne vode u tehnologiji sa povrtanim muljem
- aerobna stabilizacija mulja
- separacija viška stabilizovanog mešanog primarnog i aktivnog mulja od tretirane otpadne vode - efluenta

Od postavljenih objekata i uređaja u okviru sekundarne obrade se nalaze:

- 1) **bioeracioni bazen za aerobnu obradu sa povratnim muljem** - betonski bioeracioni bazen tipa karusel, sa pregradnim zidom i lukovima za usmeravanje toka homogenizovane otpadne vode i mulja u kanalni sistem, zapremine 1 500 m³, sa 3 fiksirana površinska mamut rotora ("Unioninvest"-Sarajevo), dimenzija četke 4.5×0.3 m, kapaciteta od po 112 kgO₂ po rotoru, projektovane potrošnje po 950 l vazduha, eksploatacione potrošnje po 400 l vazduha, vremena aeracije otpadne vode od 4.5^h, sa zasunom za evakuaciju homogenizovane aerobne obrađene vode i mešanog primarnog i aktivnog mulja u evakuacionom kanalu
- 2) **bioeracioni bazen za aerobnu stabilizaciju mešanog mulja** - betonski bioeracioni bazen tipa karusel, sa pregradnim zidom i lukovima za usmeravanje toka homogenizovane otpadne vode i mulja u kanalni sistem, zapremine 1 500 m³, sa 2 fiksirana površinska mamut rotora ("Unioninvest"-Sarajevo), dimenzija četke 4.5×0.3 m, kapaciteta od po 112 kgO₂ po rotoru, projektovane potrošnje po 950 l vazduha, eksploatacione potrošnje po 400 l vazduha, vremena aerobne sabilizacije mulja od 4.5^h, sa cevnom odvodom za evakuaciju homogenizovane aerobne obrađene vode i mešanog mulja
- 3) **gravitacioni separator mulja - naknadni taložnik** - betonska kružna muljna taložnica tipa radijalnog dekantera, prečnika D=28 m, sa koaksijalnim nazubljenim prelivom za separisanu otpadnu vodu u taložniku, strugačem mulja obešenim na produženom polumostu, sa sopstvenim pogonom gonjenim točkom po obodnu betona spoljnog kruga dekantera, sa skupljačem pene postavljenim na polumostu i evakuacionim šahtom za penu pri obodu radijalnog dekantera

– **Evakuacija tretirane otpadne vode**

Gravitaciono separisana, prethodno aerobno tretirana, otpadna voda se evakuše u recipijent reku Kubršnicu, preko mernog kanala sa Venturi meračem. Od postavljenih objekata i uređaja u okviru evakuacije tretirane otpadne vode se nalaze:

- 1) **izlivna građevina** - betonska građevina sa evakuacionim kanalom i Venturi meračem protoka efluenta, pre evakuacije u recipijent

– **Kondicioniranje i evakuacija mulja**

Stabilizacija otpadnog mešanog primarnog i viška aktivnog mulja iz procesa se vrši u drugom bioaeracionom bazenu - karuselu aerobnim postupkom. Aerobno stabilizovani mešani mulj se kondicionira pre evakuacije na obradivo zemljište, mahom individualnih poljoprivrednih proizvođača.

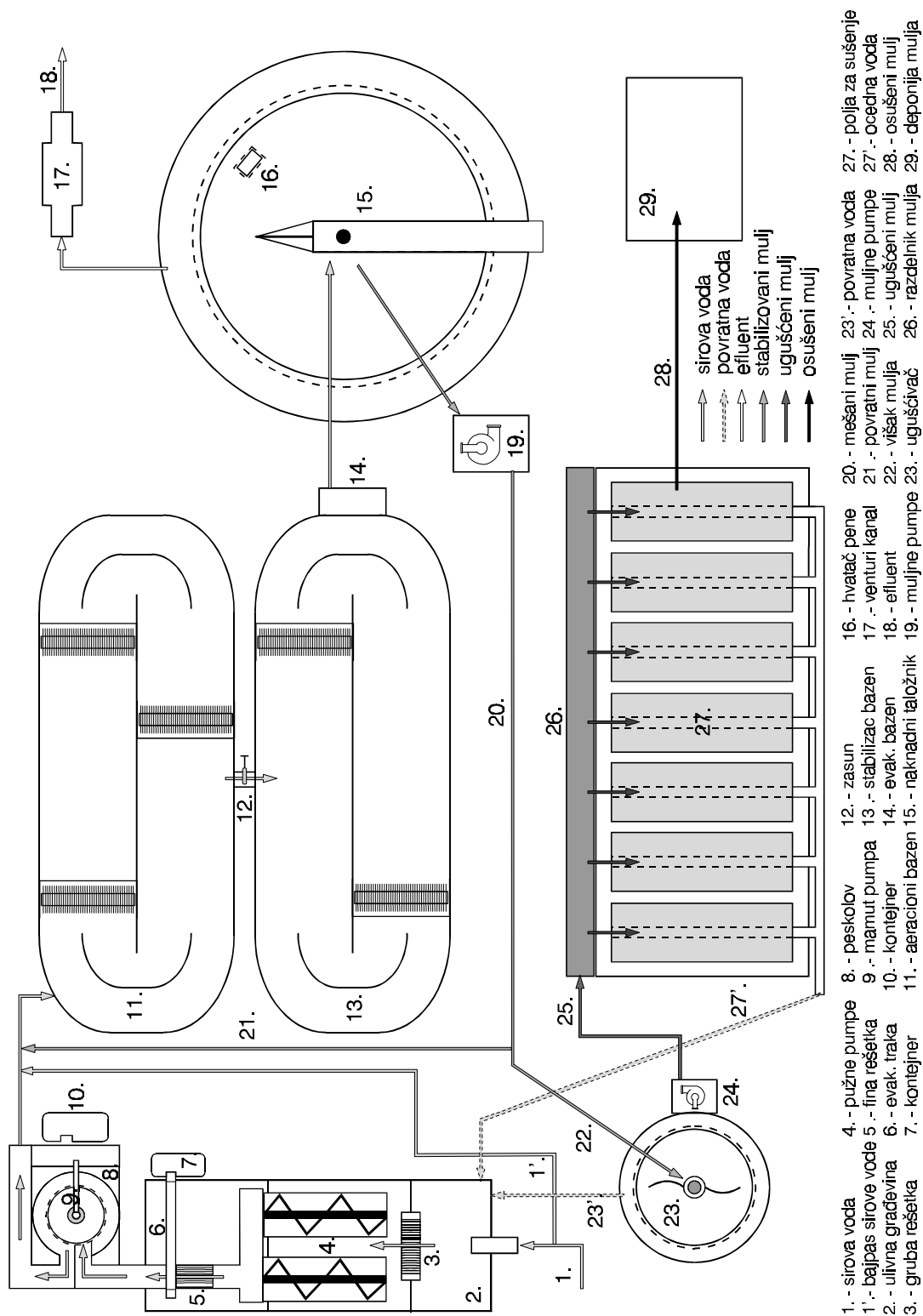
U okviru kondicioniranja viška mešanog mulja su postavljeni sledeći postupci:

- evakuacija stabilizovanog mešanog mulja iz naknadnog taložnika
- gravitaciono ugušćavanje stabilizovanog mešanog mulja
- sušenje ugušćenog mešanog mulja
- privremeno odlaganje osušenog mešanog mulja

Od postavljenih objekata i uređaja u okviru kondicioniranja mulja se nalaze:

- 1) **muljna stanica** - betonski ukopani šaht, sa 2 centrifugalne potopljene muljne pumpe (FUP, "Jastrebac"-Niš) za povremenu evakuaciju viška mulja u ugušćivač mulja, kapaciteta $2 \times 27 \text{ m}^3$, kao i 2 centrifugalne potopljene muljne pumpe za povratni mulj, kapaciteta $2 \times 120 \text{ l/s}$
- 2) **ugušćivač mulja** - betonski bazen sa mehanizmom za homogenizaciju mulja, šaržno punjenje, prečnika $D=10 \text{ m}$, kapaciteta mulja od $50 \text{ m}^3/\text{dan}$, sadržaja od $1.5 \text{ m}^3\text{SM}/\text{dan}$, sa ugušćavanjem muljne suspenzije do 27% , šaržno pražnjenje uređaja sa 2 muljne pumpe za evakuaciju u obodni kanal sa ustavama za razlivanje mulja na polja za sušenje, sa nazubljenim prelivom za evakuaciju prelivne vode u izlivnu građevinu
- 3) **polja za sušenje mulja** - betonska konstrukcija sa 18 polja za sušenje, drenažnim sistemom od peska, šljunka i evakuacionih perforiranih cevi za drenažnu vodu, nasipanja do 0.5 m , sa početkom dreniranja u sloju od minimalno 0.2 m , mehanička evakuacija osušenog mulja i transport do depoa, sa cevovodom za evakuaciju drenirane vode do izlivne građevine
- 4) **deponija osušenog mulja** - privremeno odlaganje mulja na deponiju do evakuacije na poljoprivredno zemljište

Slika 1 - Blok šema postrojenja "Banja" u Aranđelovcu



1.1.4. Efikasnost prečišćavanja

Efikasnost prečišćavanja se kontroliše preko hemijskih analiza ulaznih i izlaznih parametara otpadne vode. Analize vrši regionalni Zavod za zaštitu zdravlja, sektor za higijenu i medicinsku ekologiju iz Kragujevca.

U daljem tekstu daćemo prikaz Zapisnika jedne kompletne analize od 26.02.1998. godine.

Naziv preduzeća: JKP "Bukulja"
 Mesto i opština: Arandelovac
 Pogon: postrojenje za prečišćavanja otpadnih voda grada
 Razmaci i količine: neprekidno
 Recipijent: reka Kubršnica

Tabela 1. - Rezultati hemijske analize

Kvalitet	Jedinica	Ulaz	Izlaz	Ef (%)
izgled vode	-	smeđa	svetlo smeđa	mala
vidljive otpadne materije	-	sedim.. čestice	sedim. čestice	mala
temperatura vazduha	°C	10	10	-
temperatura vode	°C	13	11	-
mutnoća	NTU	300	70	76.7
boja	°Pt-Co skale	70	25	64.3
pH	-	7.8	7.5	-
Elektroprovodljivost	μS	610	500	18.0
nitriti - kao N ₂ O ₅	mg/l	0.00	0.13	- 100
nitriti - kao N ₂ O ₃	mg/l	0.05	0.008	84.0
amonijak - kao NH ₃	mg/l	13.86	5.39	61.1
hloridi - kao Cl ⁻	mg/l	48.0	46.0	4.2
utrošak KMnO ₄	mg/l	636.4	69.37	89.1
hem. potrošnja kiseonika - HPK	mg/l	159.1	17.34	89.1
biohem. potr. kiseonika - BPK ₅	mg/l	135.23	14.74	89.1
alkalitet	ml n/10 HCl	88.0	72.0	18.2
tvrdoca vode	°dH	8.4	10.64	- 23.2
kalcijum - kao Ca	mg/l	44.04	48.05	- 9.1
magnezijum - kao Mg	mg/l	9.61	16.82	- 73.5
gvožđe - kao Fe	mg/l	1.05	0.2	81.0
mangan - kao Mn	mg/l	0.00	0.00	-
sulfati - kao SO ₄ ⁻²	mg/l	57.62	52.5	8.9
fosfati - kao PO ₄ ⁻³	mg/l	3.96	2.76	30.3
kiseonik - kao O ₂	mg/l	4.79	3.02	37.0
ostatak isparenja nefiltr. vode	mg/l	822.0	446.0	49.4
ostatak isparenja filtrirane vode	mg/l	554.0	402.0	27.4
suspendovane materije	mg/l	268.0	44.0	83.6
sedimentne materije	mg/l	6.0	tragovi	99.99
deterdženti (ABS)	mg/l	0.018	0.000	99.999
masti i ulja (e. ekstrat)	mg/l	106.0	69.0	53.8
fenolne materije	mg/l	0.000	0.000	-
vodonik sulfid - kao H ₂ S	mg/l	0.00	0.00	-
fluor - kao F ⁻	mg/l	-	-	-
cijanidi - kao CN ⁻	mg/l	0.00	0.00	-
olovo - kao Pb	mg/l	< 0.05	< 0.05	-
cink - kao Zn	mg/l	-	-	-
kadmijum - kao Cd	mg/l	-	-	-
bakar - kao Cu	mg/l	-	-	-
živa - kao Hg	mg/l	-	-	-
arsen - kao As	mg/l	-	-	-
hrom ukupni - kao Cr	mg/l	-	-	-
nikl - kao Ni	mg/l	-	-	-

Tabela 2. - Rezultati mikrobiološke analize

Mesto uzorkovanja	Najverovatniji broj oliformnih klica u 1000 ml uzorka	Ukupna broj svih živih lica u 1 ml uzorka	Izolovano	Broj sulfitoredukujućih klostridija u 1000 ml uzorka	Mišljenje o vrsti i stepenu zagađenja
ulaz u postrojenje	-	292 000	-	sliven porast	fekalno zagađenje umerenog stepena
uliv u reku	-	40 000	-	sliven porast	fekalno zagađenje umerenog stepena

Nalaz i mišljenje:

Na osnovu dobijenih ispitivanja fizičko-hemijskih i mikrobioloških karakteristika otpadnih voda iz gradske kanalizacije u Aranđelovcu pre i posle prečišćavanja, uzorkovanih 26.02.1998. godine (lab. broj 15 i 16) može se reći sledeće:

1. Otpadne vode pre prečišćavanja su imale karakteristike klasičnih kanalizacionih voda (organsko opterećenje, kao HPK je 159.1 kg/l, koncentracija amonijaka, kao NH_3 je 13.86 mg/l, sadržaj suspendovanih materija je 268 mg/l, sadržaj masti i ulja je 106.0 mg/l)
2. Kvalitet vode nakon prečišćavanja se popravio (sadržaj masti i ulja se smanjio sa 106.0 na 69.0 mg/l, koncentracija amonijaka se smanjila sa 13.86 na 5.29 mg/l, HPK se smanjila sa 159.1 na 17.34 mg/l)
3. Koncentracije masti i ulja i amonijaka su iznad MDK za recipijent
4. Pre i posle prečišćavanja mikrobiološki rezultati ukazuju na prisustvo indikatora fekalnog zagađenja umerenog stepena

Navedeno mišljenje je dato u odnosu na Zakon o vodama (Sl. glasnik SRS 46/91), Pravilnik o opasnim materijama u vodama (Sl. glasnik SRS 31/82), Pravilnik o načinu i minimalnom broju ispitivanja kvaliteta otpadnih voda (Sl. glasnik SRS 47/83 i 13/84) i druge zakonske odredbe iz ove oblasti.

1.1.5. Eksploatacioni problemi na postrojenju

Tokom eksploatacionog perioda od 1991. godine su uočeni sledeći problemi u radu:

- u slučaju visokih padavina dolazi značajna količina komadnog otpada i drugog nanosa, koji začepљуje grubu ručnu rešetku, pa se mora kanalizaciona voda prebacivati na bajpas tok, a gruba rešetka i ulivna građevina se ručno čistiti od nanosa
- industrijska otpadna voda, posebno iz objekta "Knjaz Miloš", povremeno, naročito kada ne rade sistemi za predtretman industrijske otpadne vode pre upuštanja u kanalizaciju, menja fizičke karakteristike i drugo opterećenje kanalizacionih otpadnih voda, koje dolaze na postrojenje, što izaziva udare na postrojenje, posebno u delu biološke obrade

- najveći problem u radu stvarala je mehanika na postrojenju, posebno reduktori na četkama mamut-rotora, koji su više puta doručivani i balansirani, a onda i promenjeni sa novim reduktorima, koji su kvalitetnije izrade i stabilniji u radu
- drenaža nije najbolje rešena, tako da sušenje mulja na muljnim poljima ne zadovoljava postojeći obim kapaciteta postrojenja, posebno u zimskim uslovima, kada dolazi do zaleđivanja mulja na poljima za sušenje (od -5)

1.1.6. Zapažanja na postrojenju

Na bazi informacija od odgovornih lica na postrojenju, dostupnih analiza regionalnog Zavoda za zaštitu zdravlja u Kragujevcu, kao i prospekcije na terenu, na postojećem postrojenju za prečišćavanje otpadnih voda "Banja" u Aranđelovcu, mogu se postaviti sledeća zapažanja:

1. Postrojenje je postavljeno prema tehnologiji PASAVANT tehnologijom tipa aeracije otpadne vode sa produženom aerobnom stabilizacijom mulja u sistemu od dva karusel bioaeraciona bazena
2. Postrojenje po kapacitetu zadovoljava sadašnje potrebe angažovane komunalne kanalizacije u Aranđelovcu (oko 70% kanizacionih odvoda grada)
3. Eksploataciono hidrauličko opterećenje postrojenja u I fazi iznosi oko 100 l/s (360 m³/h)
4. Postrojenje je srednje opterećeno organskim opterećenjem (oko 150 mgBPK₅/l)
5. Postrojenje je sa zadovoljavajućim kvalitetom efluenta (oko 15 mgBPK₅/l) za upuštanje u recipijent
6. Efikasnost izabrane i postavljene tehnologije, od oko 90% za uklanjanje organskog opterećenja, zadovoljava kvalitete kanizacionih mešanih komunalnih i industrijskih otpadnih voda i efluenta, reke Kubršnice
7. Kvalitet aeracije (količina vazduha i tehnika aerisanja) je na zadovoljavajućem nivou, tako da je aerobnost postupka visoko zastupljena u karusel bazenima, što se može videti iz male korekcije pH ($\Delta\text{pH}=0.3$), kao i malog pada alkaliteta (za oko 16 ml n/10 HCl po l, odnosno oko 18%) usled fakultativnih procesa u karusel bazenima
8. Izabrana i postavljena tehnologija zadovoljava u najvećem broju parametara kvalitete kanizacionih mešanih komunalnih i industrijskih otpadnih voda i efluenta, reke Kubrešnice
9. Izabrana i postavljena tehnologija ne zadovoljava kvalitet sadržaja masti i ulja u kanizacionoj otpadnoj vodi, tako da je sadržaj masti i ulja u efluentu preko MDK za reku Kubrešnicu
10. Izabrana i postavljena tehnologija ne zadovoljava kvalitet sadržaja amonijaka u kanizacionoj otpadnoj vodi, tako da je sadržaj amonijaka u efluentu preko MDK za reku Kubrešnicu
11. Izabrana i postavljena tehnologija ne zadovoljava u potpunosti mikrobiološki kvalitet efluenta za ispuštanje u reku Kubrešnicu
12. Izabrana i postavljena operacija sušenja i privremenog odlaganja stabilizovanog mulja ne zadovoljava, kako po tehničkom rešenju, tako i po tehnološkom rešenju
13. Organizacija rada na postrojenju, kao i odnos prema postrojenju i postupku na postrojenju odgovornih i zaposlenih lica na postrojenju je na značajno visokom nivou
14. Kvalitet rada postrojenja će se značajno poboljšati po uključivanju u rad dobro izabrane i opremljene pogonske laboratorije u okviru postrojenja
15. Kadrovska struktura na postrojenju je dobra, ali bi se kvalitet rada značajno poboljšao određenom kadrovskom transformacijom i proširenjem kako broja, tako i strukture kadra na postrojenju

Opšte zapazanje o postrojenju je globalno kvalitetno pozitivno, kako u delu izabrane i postavljene tehnologije i tehnike, tako, pre svega i eksploatacijom i odnosom prema postrojenju u eksploataciji.

Tip postrojenja je primenljiv za naše uslove za mesta sa opterećenjem kanalizacionog sistema do 50 000 ES (2×25 000 ES) kod nas, naravno uz neophodne korekcije postavljene tehnologije i dorade, posebno u delu tretmana mulja

1.1.7. Predlog mera za poboljšavanje kvaliteta rada na postrojenju

Da bi se kvalitet rada postrojenja doveo na zahtevani nivo sa stanovišta recipijenta potrebno bi bilo modifikovati, ili doraditi sledeće pozicije:

- 1) Poštovati pravilnik donet na nivou SO Arandelovac, o potrebnom kvalitetu otpadnih voda koje se upuštaju u gradsku kanalizaciju za sve industrijske i druge proizvodne objekte u Arandelovcu
- 2) Izraditi analizu ispunjenosti uslova u svim industrijskim i drugim proizvodnim objektima, koji su priključeni svojom kanalizacijom na postrojenje "Banja"
- 3) Razmisliti o uvođenju stabilizacionog predbazena za prihvatanje nanosa, postavljenog na bajpas kanalu ispred ulazne građevine, za predupređivanje zasipanja i opterećivanja grube rešetke u kišnom periodu, ili kod nekontrolisane evakuacije sedimenta iz industrijskih i drugih proizvodnih objekata u kanalizaciju
- 4) Poboljšati tehničko rešenje, ili uvesti korektivni tretman na efluentu, separacije masti i ulja u naknadnom taložniku, pošto je postojeće rešenje, u vidu prelivne komore uz obod taložnice, nedovoljno za potrebnu efikasnost prečišćavanja masti i ulja
- 5) Poboljšati tehničko rešenje, ili uvesti korektivni tretman na efluentu, postupka nitrifikacije u stabilizacionom bazenu-karuselu, pošto je postojeće rešenje nedovoljno za potrebnu efikasnost uklanjanja amonijaka
- 6) Postaviti u funkciju dezinfekciju efluenta pre upuštanja u efluent, kako bi se popravio mikrobiološki kvalitet efluenta u odnosu na recipijent
- 7) Osmisliti odgovarajuće tehničko rešenje za polja za sušenje mulja sa boljim drenažnim sistemom, kao i privremeno odlaganje stabilizovanog i osušenog mulja, u cilju ubrzanja postupaka, dok je postrojenje ovako opterećeno u I fazi, a obavezno promeniti tehniku kondicioniranja mulja, kada se bude pristupilo II fazi izgradnje postrojenja
- 8) Razmisliti o uvođenju hemijskog kondicioniranja i ceđenja mulja za II fazu postrojenja

Slika 2 - Detalj sa postrojenja - Karusel biaeracioni bazen sa tri mamut rotora



Slika 3 - Detalj sa postrojenja - Polja za sušenje mulja



1.2. Postrojenje "Partizani" - Arandelovac

1.2.1. Opšti podaci o postrojenju

Postrojenje za prečišćavanje kanalizacionih otpadnih voda "Arandelovac-Partizani" se nalazi na građevinskom zemljištu iza grada Arandelovca, u ataru sela Partizani, sa leve strane izlaznog regionalnog puta Arandelovac-Lazarevac, na oko 12 km od grada Arandelovca. Od regionalnog puta do kapije ograđenog kompleksa postrojenja je prosečena staza, utabana utrina, umesto postavljanja vezne saobraćajnice.

Postrojenje je locirano daleko van industrijske zone, a i izvan sela Partizani.

Postrojenje je izgrađeno 1992. godine, da bi bilo uključeno u probnu eksploataciju 1997. godine.

Postrojenje je projektovano i izgradilo preduzeće "Energoprojekt" iz Beograda.

Na postrojenju treba da se prečišćavaju kanalizacione vode grada Arandelovca, koje obuhvataju komunalne otpadne vode prigradskih mesta, sela Partizani i Bukovik, kao i industrijske otpadne vode velikih industrijskih objekata grada Arandelovca, od kojih po kvalitetu i kvantitetu dominiraju "Šamot" i FEP.

Tako je postrojenje planirano da prerađuje mešane komunalne i industrijske otpadne vode, sa nižim stepenom predtretmana industrijskih otpadnih voda.

Postrojenje još uvek nije u eksploataciji iz razloga što kanalizacioni sistem, koji se vezuje sa kolektorom do postrojenja, još nije završen.

Postrojenje radi na minimumu, isključivo radi održavanja biologije u bioaeracionom bazenu.

Recipijent za efluent, tretiranu otpadnu vodu iz postrojenja, je reka Peštan, koja prolazi u neposrednoj blizini kompleksa postrojenja. Reka Peštan je od izvora, do ušća u Kolubaru, kategorisana kao voda IV kategorije.

1.2.2. Kapacitet postrojenja

Postrojenje za prečišćavanje kanalizacionih otpadnih voda "Partizani"-Arandelovac je projektovano za prečišćavanje mešanih komunalnih i predtretiranih industrijskih otpadnih voda.

Postrojenje je zamišljeno kao kompletna postavka biloškog postrojenja za aerobnu obradu otpadne vode aktivnim muljem.

Planirani kapacitet bioloških postrojenja, prema navodima odgovornih lica na postrojenju, iznosi 3 800 ES, tako da se može smatrati da je instalirani kapacitet postrojenja u fazi biološke obrade oko 4 000 ES po liniji, tako da bi ukupni kapacitet sa dve linije za biološku obradu, trebao biti oko 8 000 ES.

Planirano hidrauličko opterećenje postrojenja iznosi 37 l/s mešane komunalne i industrijske otpadne vode.

Odnos komunalnih i industrijskih otpadnih voda u mešanim kanalizacionim vodama nije definisan.

1.2.3. Tehnologija prečišćavanja

Postrojenje za prečišćavanje kanalizacionih otpadnih voda "Partizani"- Arandjelovac je projektovano za prečišćavanje mešanih komunalnih i predtretiranih industrijskih otpadnih voda.

Projektovana i postavljena tehnologija prečišćavanja je tehnologija aerobne obrade otpadnih voda aktivnim muljem sa produženom aeracijom.

Projektovana i postavljena tehnologija prečišćavanja bazira na zajedničkom aerobnom tretmanu otpadne vode i otpadnog mulja, koji se razdvajaju pre evakuacije, tretirana otpadna voda u recipijent, reku Peštan, a stabilizovani otpadni mulj, posle hemijskog kondicioniranja polielektrolitima i mehaničkog ceđenja centrifugalnim dekanterom, treba da se evakuiše na obradive površine.

Projektovana i postavljena tehnologija prečišćavanja se sastoji od sledećih operacija:

- primarna obrada
- sekundarna obrada
- evakuacija tretirane otpadne vode
- kondicioniranje i evakuacija mulja

- **Primarna obrada**

Primarna obrada se sastoji od mehaničke obrade kanalizacione otpadne vode. U okviru primarne obrade su postavljeni sledeći postupci:

- gruba separacija komadnog čvrstog otpada
- fina separacija komadnog čvrstog otpada
- separacija peska

Transport kanalizacione vode, od ulivne građevine do biološke obrade se vrši kanalom. Od postavljenih objekata i uređaja u okviru primarne obrade se nalaze:

- 1) **ulivna građevina** - ukopani šaht sa ručnom grubom ravnom rešetkom, otvora rešetke od 70 mm, ispred koga je postavljen bajpas odvod, za slučaj potrebe isključivanja objekta iz funkcije, pri intervenciji na instaliranoj opremi
- 2) **pumpna stanica** - dve otvorene pužne pumpe za podizanje grubo separisane kanalizacione otpadne vode, dve šneke sa sopstvenim pogonom koritom i pogonom elektromotorima na vrhu šneka
- 3) **fini separator** - automatska lučna rešetka automatskim čistačem rešetke na kolicima i trakom za evakuaciju otpada, otvora rešetke od 20 mm, postavljena na transportnom kanalu
- 4) **separator peska** - kružni, aksijalno postavljeni betonski peskolov sa prelivnom komorom za separisanu vodu, potopljenom pumpom za evakuaciju peska iz konusnog dna peskolova, mehaničkim separatorom od lima, sa sitom za drenažu peska, kao i pratećim kontejnerom za prihvatanje ocedenog peska i evakuaciju peska sa postrojenja

– **Sekundarna obrada**

Sekundarna obrada se sastoji od aerobne biološke obrade kanalizacione otpadne vode i aerobne stabilizacije mulja. U okviru sekundarne obrade su postavljeni sledeći postupci:

- aerobna obrada otpadne vode u tehnologiji sa povrtanim muljem
- aerobna stabilizacija mulja
- separacija viška stabilizovanog mešanog primarnog i aktivnog mulja od tretirane otpadne vode - efluenta

Od postavljenih objekata i uređaja u okviru sekundarne obrade se nalaze:

- 1) **bioeracioni bazen za aerobnu obradu sa povratnim muljem sa koaksijalno postravljenim naknadnim taložnikom u centru kao blok postrojenje** - kružni betonski bioeracioni bazen, zapremine 800 m³, sa 6 potopljenih fiksiranih baterija ("tepih") difuzera sa tanjirastim difuzorskim elementima, sa centralnim dovodom vazduha i prstenastim vodom oko bazena sa 6 izvoda za napajanje baterija difuzera, sa homogenizacijom mase mulja i vode sa dve potopljene propelerske mešalice, sa ulivom kanala za sirovu vodu i povratni mulj uz betonsku ivicu bazena na jednoj strani bazena i evakuacionom komorom za aerisanu vodu sa suprotne strane bazena
- 2) **gravitacioni separator mulja - naknadni taložnik** - betonska kružna muljna taložnica tipa radijalnog dekantera, zapremine 400 m³, postavljena u centru biološkog bazena, iz koga sa dna uvlači aerisanu vodu i mulj po principu koaksijalne ulazne zone (psten u prstenu), sa koaksijalnim nazubljenim prelivom za separisanu otpadnu vodu u taložniku, strugačem mulja obešenim na polumostu, sa sopstvenim pogonom gonjenim točkom po obodnu betona spoljnog kruga bioeracionog bazena, sa skupljačem pene postavljenim na polumostu i evakuacionom šahtom za penu pri obodu radijalnog dekantera

– **Evakuacija tretirane otpadne vode**

Gravitaciono separisana, prethodno aerobno tretirana, otpadna voda se evakuše u recipijent reku Peštan, preko mernog kanala sa Venturi merilom.

Od postavljenih objekata i uređaja u okviru evakuacije tretirane otpadne vode se nalaze:

- 1) **izlivna građevina** - betonska građevina sa evakuacionim kanalom i Venturi meračem protoka efluenta, pre evakuacije u recipijent

– **Kondicioniranje i evakuacija mulja**

Stabilizacija otpadnog mešanog primarnog i viška aktivnog mulja iz procesa se vrši u bioeracionom bazenu postupkom produžene aeracije. Planirano je da se aerobno stabilizovani mešani mulj kondicionira pre evakuacije na obradivo zemljište, mahom kod individualnih poljoprivrednih proizvođača.

U okviru kondicioniranja viška mešanog mulja su postavljeni sledeći postupci:

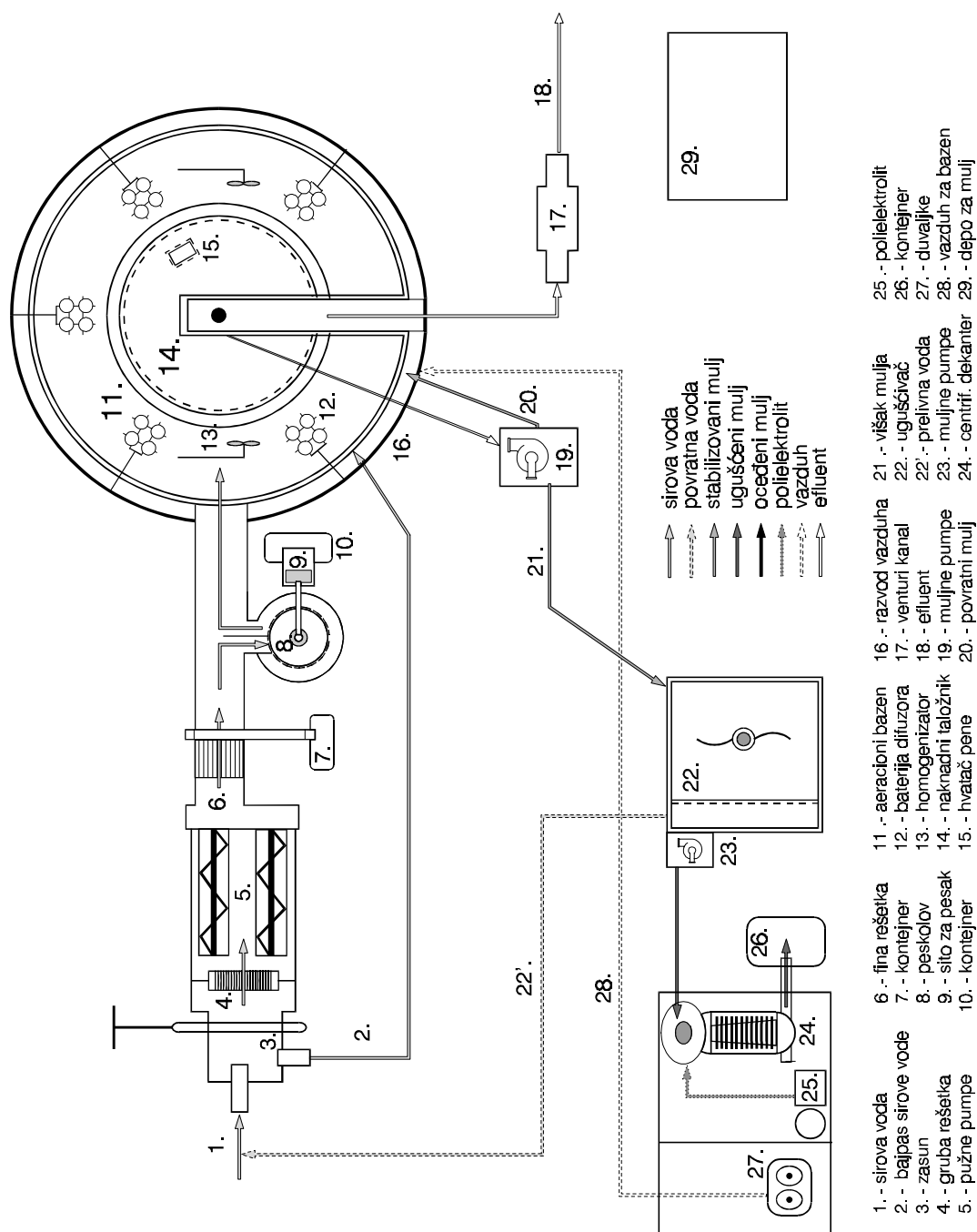
- evakuacija stabilizovanog mešanog mulja iz naknadnog taložnika
- gravitaciono ugušćavanje stabilizovanog mešanog mulja
- hemijsko kondicioniranje ugušćenog mešanog mulja

- ceđenje kondicioniranog mešanog mulja
- evakuacija ocedenog mulja kontejnerom
- privremeno skladištenje ocedenog mulja na depou za mulj

Od postavljenih objekata i uređaja u okviru kondicioniranja mulja se nalaze:

- 1) **muljna stanica** - betonski ukopani šaht, sa 2 centrifugalne potopljene muljne pumpe za povremenu evakuaciju viška mulja u ugušćivaču mulja, kao i 2 centrifugalne potopljene muljne pumpe za povratni mulj
- 2) **ugušćivač mulja** - četvorougaoi betonski bazen sa mehanizmom za homogenizaciju mulja, šaržno punjenje, šaržno pražnjenje uređaja sa 2 muljne pumpe za evakuaciju u dozirnu posudu za centrifugalni muljni dekanter, sa nazubljenim prelivom na zadnjoj strani bazena za evakuaciju prelivne vode, koja se vraća u ulivnu građevinu
- 3) **pogon za hemijsko kondicioniranje mulja** - građevinski objekat za hemijsko kondicioniranje i ceđenje mulja, sa opremom za pripremu polielektrilita, sa opremom za mešanje ugušćenog mulja i polielektrolita pre ceđenja mulja u posudu za doziranje centrifugalnog dekantera
- 4) **centrifugalni dekanter za mulj** - centrifugalni separator, horizontalne postavke, za ocedivanje ugušćenog i hemijski kondicioniranog mulja, sa posudom za doziranje, sabirnim koritom za ocednu vodu i cevovodom za evakuaciju ocedne vode do ulivne građevine, sa komorom za izvlačenje ocedenog mulja i dozirnim elementom za doziranje trakastog transportera za evakuaciju mulja iz objekta za ceđenje do spoljnog kontejnera za prihvatanje mulja
- 5) **prihvatni kontejner za mulj** - kontejner za prihvatanje mulja, van objekta, sa točkicama, postavljen ispod evakuacione trake za ocedeni mulj, ručno postavljanje i odvoženje kontejnera do privremenog depoa za mulj
- 6) **privremeni depo za mulj** - uređena površina za privremeno deponovanje mulja do evakuacije za poljoprivredne delatnosti

Slika 4 - Blok šema postrojenja "Partizani" u Arandelovcu



1.1.4. Efikasnost prečišćavanja

Pošto postrojenje još nije pušteno u planiranu eksploataciju, već je na "stand by" radnom režimu (režimu održavanja sistema), to se ne vrše merenja kvaliteta ulazne sirove vode i izlaznog efluenta.

1.1.5. Eksploatacioni problemi na postrojenju

Kako postrojenje nije u eksploataciju već na režimu održavanja biologije u sistemu, nema nikakvih eksploatacionih podataka da bi se mogle davati analize o problemima prilikom eksploatacije na postrojenju

1.1.6. Zapažanja na postrojenju

Na bazi informacija od odgovornih lica na postrojenju, kao i prospekcije na terenu, na postojećem postrojenju za prečišćavanje otpadnih voda "Partizani" u Aranđelovcu, mogu se postaviti sledeća zapažanja:

1. Postrojenje je postavljeno prema tehnologiji PASAVANT, sa tehnologijom tipa aeracije otpadne vode sa produženom aeracijom u blok sistemu koaksijalnog biološkog bazena sa difuznim uvođenjem vazduha (baterije "tepih" difuzera) i naknadnog taložnika
2. Izabrana i postavljena tehnologija produžene aeracije sa potopljenim difuzorima zadovoljava, kako po tehničkom rešenju, tako i po tehnološkom rešenju
3. Izabrana i postavljena operacija hemijskog kondicioniranja i centrifugalnog ceđenja mulja i privremenog odlaganja stabilizovanog mulja zadovoljava, kako po tehničkom rešenju, tako i po tehnološkom rešenju
4. Kvalitetu rada postrojenja će značajno doprineti dobro izabrana i opremljena pogonska laboratorija u okviru postrojenja "Banja"-Aranđelovac

Opšte zapažanje o postrojenju je globalno visoko pozitivno u delu izabrane i postavljene tehnologije i tehnike.

Tip postrojenja je značajno kvalitetan za naše uslove za mesta sa opterećenjem kanalizacionog sistema do 10 000 ES (2×5 000 ES) kod nas.

Smatramo da bi Projekat postrojenja trebalo korigovati za uočene nedostatke i uzeti za primer projekta postrojenja za 10 000 ES (2×5 000 ES) za naše uslove.

1.1.7. Predlog mera za poboljšavanje kvaliteta rada na postrojenju

Da bi se kvalitet rada postrojenja još više podigao na zavidniji nivo sa stanovišta recipijenta potrebno bi bilo doraditi sledeće pozicije:

- 1) Poštovati pravilnik donet na nivou SO Aranđelovac o potrebnom kvalitetu otpadnih voda koje se upuštaju u gradsku kanalizaciju za sve industrijske i druge proizvodne objekte u Aranđelovcu
- 2) Izraditi analizu ispunjenosti uslova u svim industrijskim i drugim proizvodnim objektima, koji su priključeni svojom kanalizacijom na postrojenje "Partizani"
- 3) Razmisliti o uvođenju stabilizacionog predbazena za prihvatanje nanosa, postavljenog na bajpas kanalu ispred ulazne građevine, za predupređivanje zasipanja i opterećivanja grube rešetke u kišnom periodu, ili kod nekontrolisane evakuacije sedimenta iz industrijskih i drugih proizvodnih objekata u kanalizaciju
- 4) Poboljšati tehničko rešenje, ili uvesti korektivni tretman na efluentu, separacije masti i ulja u naknadnom taložniku, pošto se očekuje da postojeće rešenje, u vidu prelivne komore uz obod taložnice, neće biti uvek dovoljno za potrebnu efikasnost prečišćavanja masti i ulja
- 5) Uvesti korektivni tretman na efluentu, postupka nitrifikacije pred dezinfekcioni bazen, pošto postojeće rešenje ne daje prevelike garancije za potrebnu efikasnost uklanjanja amonijaka i drugih azotnih materija
- 6) Uvesti dezinfekciju efluenta pre upuštanja u efluent, kako bi se popravio mikrobiološki kvalitet efluenta u odnosu na recipijent

Slika 5 - Detalj sa postrojenja - Pužne muljne pumpe



Slika 6 - Detalj sa postrojenja - Koaksijalni blok: biološki bazen - naknadni taložnik



1.3. Postrojenje J.K.P. "Tvrđava" - Bač

1.3.1. Opšti podaci o postrojenju

Postrojenje za prečišćavanje kanalizacionih otpadnih voda J.K.P. "Tvrđava" u Baču se nalazi na građevinskom zemljištu u ataru grada Bača, sa desne strane ulaznog puta sa pravca regionalnog puta Bačka Palanka-Bač. Od regionalnog puta do kapije ograđenog kompleksa postrojenja je prosečena vezna saobraćajnica.

Postrojenje je locirano van industrijske zone, a i izvan grada Bača.

Postrojenje je izgrađeno 1993. godine, kada je i uključeno u probnu eksploataciju.

Postrojenje je projektovalo i izgradilo preduzeće "Kulaprojekt" iz Kule.

Na postrojenju treba da se prečišćavaju isključivo kanalizacione vode grada Bača. Tako je i postrojenje planirano da prerađuje čisto komunalne otpadne vode.

Postrojenje još u eksploataciji ali nikakvih podataka o praćenju rada postrojenja nema do sada.

Recipijent za efluent, tretiranu otpadnu vodu iz postrojenja, je obližnji kanal, koji prolazi u neposrednoj blizini kompleksa postrojenja.

1.3.2. Kapacitet postrojenja

Postrojenje za prečišćavanje kanalizacionih otpadnih voda J.K.P. "Tvrđava"-Bač je projektovano za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda. Postrojenje je zamišljeno kao kompletna postavka biloškog postrojenja za aerobnu obradu otpadne vode sistemom laguna.

Planirani kapacitet bioloških postrojenja iznosi 13 000 ES.

1.3.3. Tehnologija prečišćavanja

Projektovana i postavljena tehnologija prečišćavanja je tehnologija aerobne obrade otpadnih voda sa aerobnom stabilizacijom otpadnog mulja u postrojenju sa lagunama.

Projektovana i postavljena tehnologija prečišćavanja bazira na zajedničkom aerobnom tretmanu otpadne vode i otpadnog mulja, koji se do kraja postupka ne razdvaja, već se tretirana otpadna voda iz poslednje, muljne lagune, preko preliva ispušta u recipijent.

Planirano čišćenje muljne lagune i vađenje i evakuacija mulja do gradskoe deponije je jednom u 10 godina.

Projektovana i postavljena tehnologija prečišćavanja se sastoji od sledećih operacija:

- mehanički predtretman otpadne vode
- tretman otpadne vode postupkom sa aerisanim aerobnim lagunama

– Mehanički predtretman otpadne vode

Mehanički predtretman otpadne vode se sastoji od mehaničke obrade kanalizacione otpadne vode. U okviru predtretmana su postavljeni sledeći postupci

- fina separacija komadnog čvrstog otpada
- separacija peska

Transport kanalizacione vode, od ulivne građevine do biološke obrade se vrši kanalom.

Od postavljenih objekata i uređaja u okviru pretretmana se nalaze:

- 1) **ulivna građevina** - ukopani šaht, ispred koga je postavljen bajpas odvod, za slučaj potrebe isključivanja objekta iz funkcije, pri intervenciji na instaliranoj opremi
- 2) **pumpna stanica** - tri potopljene jednokanalne centrifugalne pumpe za podizanje kanalizacione otpadne vode do sabirne betonske šahte, na početku hidrauličkog toka, duž pretretmana
- 3) **fini separator** - automatska lučna rešetka automatskim čistačem rešetke na kolicima i trakom za evakuaciju otpada, otvora rešetke od 20 mm, postavljena na transportnom kanalu
- 4) **separator peska** - kružni aerisani betonski peskolov sa prelivnom komorom za separisanje pesak, potopljenom pumpom za evakuaciju peska iz konusnog dna peskolova, sa sitom za drenažu peska

Tretman otpadne vode

Tretman otpadne vode se sastoji od dve aerisane aerobne lagune, prva za aerobnu obradu otpadne vode a druga za aerobnu stabilizaciju mulja. U okviru tretmana otpadne vode su postavljeni sledeći postupci:

- obrada otpadne vode i otpadnog mulja u aerisanim lagunama u tehnologiji sa povrtanim muljem u prvu aerisanu lagunu
- aerobna stabilizacija mulja u drugoj aerisanoj aerobnoj laguni
- taloženje viška mulja u muljnim lagunama, sa evakuacijom izbistrene prečišćene vode preko preliva u poslednjoj muljnoj laguni

Od postavljenih objekata i uređaja u okviru tretmana otpadnih voda se nalaze:

- 1) **dve aerisane aerobne lagune, od kojih je prva sa povratnim muljem** - četvorougaozni zemljani ukopani bazeni sa zaobljenim ivicama, dimenzija 34×60 m prve lagune i 25×60 m druge lagune, zapremina prve lagune 4 360 m³, a druge lagune 2 500 m³, međusobno odeljene zemljanom nasipom, sa 2 paralelne pruge potopljenih difuznih dvoštapnih baterija sa štapnim difuzorskim elementima, u prvoj laguni, odnosno sa jednom prugom u drugoj laguni, podužno postavljenih u obe lagune, sa centralnim dovodom vazduha plastičnim crevom i vezom između difuznih baterija u pruzi (lancu) sa plastičnim crevima, sa metalnim spojnica na spojevima creva i difuzora, sa homogenizacijom mase mulja i vode samim difuzorima, sa ulivnom šahtom u koju ulaze vezne cevi iz kanala za sirovu vodu i kanala za povratni mulj na čelu prve lagune, kao i veznom cevi između prve i druge lagune, sa izdvojenom zonom-udubljenjem u prvoj laguni za sakupljanje mulja i povremenom evakuacijom mulja pomoću potopljenih mamut pumpi, koje povratni mulj ubacuju u muljni kanal, postavljen paralelno sa širom i čeonom ivicom prve lagune, a koji vodi do ulivne šahte
- 2) **dve neaerisane - taložne lagune** - četvrtasti zemljani ukopani bazeni, oblika zasečenih četvorouglova sa zaobljenim ivicama, zapremina obe lagune po 4 360 m³, međusobno odeljene zemljanom nasipom, međusobno povezane cevovodom, sa prelivom za tretiranu vodu iz poslednje lagune, odakle se evakuise u kanal koji prolazi kroz hlornu stanicu, pre evakuacije u recipijent, obližnji kanal

– **Evakuacija tretirane otpadne vode**

Gravitaciono separisana, prethodno aerobno tretirana, otpadna voda se evakuše u recipijent obližnji kanal, preko mernog kanala sa Venturi merilom.

Od postavljenih objekata i uređaja u okviru evakuacije tretirane otpadne vode se nalaze:

- 1) **izlivna građevina** - betonska građevina sa evakuacionim kanalom i Venturi meračem protoka efluenta, pre evakuacije u recipijent
- 2) **hlorna stanica** - postrojenje sa automatskim dozatorom za rastvor hipohlorita

– **Kondicioniranje i evakuacija mulja**

Stabilizacija otpadnog mešanog primarnog i viška aktivnog mulja iz procesa se vrši u drugoj aerisanoj aerobnoj laguni postupkom produžene aeracije.

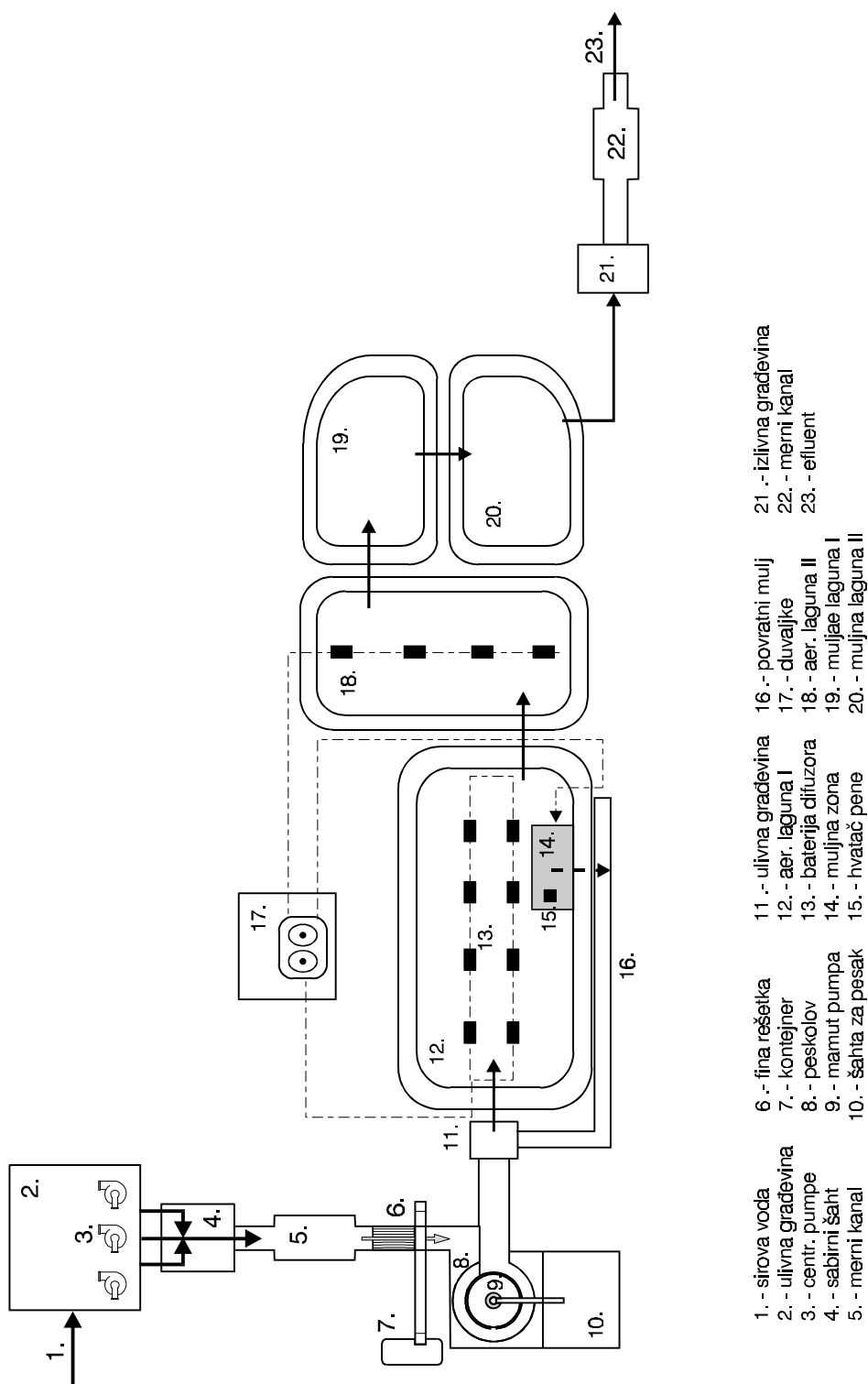
U okviru kondicioniranja viška mešanog mulja postavljen je sledeći postupak:

- evakuacija stabilizovanog mešanog mulja iz muljne lagune, posle ispuštanja vode iz lagune i prirodnog sušenja na vazduhu, jednom u 10 godina

Od postavljenih objekata i uređaja u okviru kondicioniranja mulja se nalaze:

- 1) **crpilište za mulj u prvoj laguni** - u zemlji ukopani šaht, sa mamut pumpama, sa dovodom radnog vazduha iz posebnog kompresora, potopljenim muljnim pumpama za povremenu evakuaciju viška mulja u ulivnu građevinu ispred prve lagune
- 2) **Muljna laguna** - četvorougona zasečena zemljana laguna bez ikakve mehanike u tretmanu mulja

Slika 7 - Blok šema postrojenja J.K.P. "Tvrđava" u Baču



1.3.4. Efikasnost prečišćavanja

Pošto se na postrojenje ne vrše merenja kvaliteta ulazne sirove vode i izlaznog efluenta, ne mogu se dati egzaktni pokazatelji efikasnosti prečišćavanja otpadne vode.

Prema vizuelnom zapažanju fizičkih parametara i izgleda vode na ulazu i izlazu iz postrojenja sa lagunama može se reći da je voda mehanički dobro prečišćena, da je dosta zastupljenog anaerobnog procesa zbog karakterističnih mirisa efluenta, da biološki proces nije efikasan po prisutnosti boje, koloidnih materija u efluentu, kao i da je zastupljena aktivnost algi mnogo više nego što je dopušteno, naravno, na uštrb bakterijske zastupljenosti u tretmanu otpadnih voda.

1.3.5. Eksploatacioni problemi na postrojenju

Na postrojenju postoji veliki broj eksploatacionih problema.

Najveći problemi su u razvodu vazduha i neadekvatnoj aeraciji usled loših rešenja sa spojevima creva i difuzora, kao i sa kvalitetom creva.

Drugi deo eksploatacionih problema se ogleda u neodgovarajućem rešenju peskolova, tako da mu je funkcija problematična, posebno u delu evakuacije istaloženog peska i separacije evakuisanog peska.

1.3.6. Zapažanja na postrojenju

Na bazi informacija od odgovornih lica na postrojenju, kao i prospekcije na terenu, na postojećem postrojenju za prečišćavanje otpadnih voda J.K.P. "Tvrđava" u Baču, mogu se postaviti sledeća zapažanja:

1. Postrojenje je postavljeno prema tehnologiji laguna, sa blokom od dve aerisane lagune i dve muljne lagune
2. Izabrana i postavljena tehnologija produžene aeracije sa uronjenim štapnim difuzorima uopšte ne zadovoljava, kako po tehničkom rešenju, tako i po efikasnosti
3. Izabrana i postavljena operacija taloženja mulja u taložnoj laguni ne odgovara zahtevima kvaliteta, kako po tehničkom rešenju, tako i po tehnološkom rešenju

Opšte zapažanje o postrojenju je globalno dosta negativno u delu izabrane i postavljene tehnologije i tehnike.

Ovakav tip postrojenja mislimo da nije uopšte primenljiv za naše uslove, a pogotovu za mesta sa opterećenjem kanalizacionog sistema preko 5 000 ES.

1.3.7. Predlog mera za poboljšavanje kvaliteta rada na postrojenju

Da bi se kvalitet rada postrojenja podigao na zavidniji nivo sa stanovišta recipijenta potrebno bi bilo doraditi sledeće pozicije:

- 1) Poštovati pravilnik donet na nivou SO Bač o potrebnom kvalitetu otpadnih voda koje se upuštaju u gradsku kanalizaciju za sve industrijske i druge proizvodne objekte u Baču
- 2) Izraditi analizu ispunjenosti uslova u svim industrijskim i drugim proizvodnim objektima, koji će biti priključeni svojom kanalizacijom na postrojenje

- 3) Razmisliti o uvođenju stabilizacionog predbazena za prihvatanje nanosa, postavljenog na bajpas kanalu ispred ulazne građevine, za predupređivanje zasipanja i opterećivanja potopljenih centrifugalnih pumpi u kišnom periodu, ili kod nekontrolisane evakuacije sedimenta iz industrijskih i drugih proizvodnih objekata u kanalizaciju
- 4) Poboljšati sva tehnička rešenja, i uvesti korektivni tretman na efluentu, pošto sva postavljena tehnička rešenja ili malo zadovoljavaju, kao: potopljene centrifugalne pumpe, automatska rešetka i hvatač peska, ili uopšte ne zadovoljavaju, kao potopljeni štapni difuzori
- 5) Uvesti korektivni tretman na efluentu u obimu koji zahteva kvalitet efluenta i recipijenta

POSTROJENJA ZA PREČIŠĆAVANJE

Slika 8 - Detalj sa postrojenja - redtretman vode - sabirni šaht, merni kanal, automatska rešetka, peskolov



Slika 9 - Detalj sa postrojenja - Zona za evakuaciju mulja u laguni AL-I sa prelivnom šahtom za penu



1.4. Postrojenje "Mlakovac" - Gornji Milanovac

1.4.1. Opšti podaci o postrojenju

Postrojenje za prečišćavanje kanalizacionih otpadnih voda "Mlakovac" - Gornji Milanovac se nalazi na građevinskom zemljištu iza grada Gornjeg Milanovca, na oko 5 km sa leve strane magistralnog puta G. Milanovac-Kraljevo (Ibarska magistrala), iz pravca grada Gornjeg Milanovca. Postrojenje je poslednji građevinski objekat na tom delu iz pravca Gornjeg Milanovca. Postrojenje je locirano izvan gradske zone, u zoni prigradskog naselja Mlakovac. Ispred postrojenja se nalazi naselje, a od postrojenja pa nadalje se nalazi ratarsko obradivo zemljište. Od magistralnog puta do kapije ograđenog kompleksa postrojenja je postavljena interna saobraćajnica.

Postrojenje još nije završeno prema projektu. Postrojenje je građeno i puštano u rad u etapama. Tokom 1992. godine je puštena mehanička (primarna) obrada. Tokom 1993. godine je puštena, pored mehaničke (primarne) obrade, biološka (sekundarna) obrada. Obrada mulja je puštena u rad u nekompletnom projektovanom postupku, samo mehanička obrada bez anaerobne stabilizacije mulja.

Tako je postrojenje u funkciji, a još nije osposobljena kompletna planirana tehnologija.

Postrojenje je urađeno po projektu "Energoprojekta" iz Beograda, a tehnologija i oprema su nabavljeni od "Unioninvesta" iz Sarajeva.

Na postrojenju se prečišćavaju kanalizacione vode grada Gornjeg Milanovca, koje obuhvataju komunalne otpadne vode i industrijske otpadne vode svih industrijskih objekata grada Gornjeg Milanovca, od kojih po kvalitetu i kvantitetu dominiraju metalna industrija "Metalac" i FAD, industrija polimera "Tipoplastika", kao i prehrambena industrija "Takovo".

Deo industrijskih objekata, osim objekata iz prehrambene industrije ima postrojenja za predtretman industrijskih otpadnih voda, pre upuštanja u kanalizacioni sistem. Ova postrojenja ne rade kontinuirano, pa povremeno na postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda dolazi do hidrauličkih udara, kao i uliva netretirane industrijske otpadne vode. Tako postrojenje prerađuje mešane komunalne i industrijske otpadne vode, sa uobičajenim nivoom predtretmana industrijskih otpadnih voda.

Odnos industrijskih i komunalnih otpadnih voda na postrojenju je prilično nepovoljan, pošto je planirano hidrauličko opterećenje postrojenja za prečišćavanje kanalizacionih voda sa industrijskim otpadnim vodama oko 2/3, a sa komunalnom otpadnom vodom oko 1/3.

Zbog poznatih problema i sankcija sadašnji odnos hidrauličkih opterećenja je 1:1, odnosno hidrauličko opterećenje postrojenja industrijskim otpadnim vodama i komunalnim otpadnim vodama je po 50%.

Recipijent za efluent, tretiranu otpadnu vodu iz postrojenja, je reka Despotovica, koja prolazi u neposrednoj blizini kompleksa postrojenja. Reka Despotovica je kategorisana kao voda IV kategorije.

1.4.2. Kapacitet postrojenja

Postrojenje za prečišćavanje kanalizacionih otpadnih voda "Mlakovac"- Gornji Milanovac je projektovano za prečišćavanje mešanih komunalnih i predtretiranih industrijskih otpadnih voda.

Postrojenje je zamišljeno kao paralelna postavka dve pruge, sastavljene od biološkog bloka za aerobnu obradu otpadne vode aktivnim muljem, sa sopstvenim primarnim i naknadnim taložnikom, sa zajedničkim ulaznim i izlaznim objektima i uređajima, kao i sa zajedničkim uređajima za tretman mulja. Izgradnja postrojenja je zamišljena u dve faze:

- I faza - ulazni objekti i uređaji za kompletno postrojenje
- primarni taložnik za polovinu planiranog kapaciteta
 - biološko postrojenje za polovinu planiranog kapaciteta
 - naknadni taložnik za polovinu planiranog kapaciteta
 - izlazni objekti i uređaji za kompletno postrojenje
 - kompletna linija objekata za tretman mulja

- II faza - primarni taložnik za drugu polovinu planiranog kapaciteta
- biološko postrojenje za drugu polovinu planiranog kapaciteta
 - naknadni taložnik za drugu polovinu planiranog kapaciteta
 - postrojenje za tretman biogasa
 - postrojenje za iskorišćenje biogasa - energetski blok

Planirani kapacitet kompletnog postrojenja iznosi 100 000 ES (2×50 000 ES). Planirani udeo industrijskih otpadnih voda je oko 65 000 ES, a komunalnih otpadnih voda je oko 35 000 ES.

Trenutni eksploatacioni kapacitet postrojenja je oko 35 000 - 50 000 ES.

U I fazi su izgrađeni svi građevinski objekti, i postavljeni uređaji za mehanički tretman kanalizacionih voda, separaciju kombinovanog primarnog i aktivnog mulja, tretman viška mešanog primarnog i aktivnog mulja i evakuaciju efluenta za 100 000 ES, a objekti i uređaji za primarno taloženje, biološku obradu otpadnih voda i naknadno taloženje, za 50 000 ES.

Osim navedenih objekata izgrađeni su i građevinski objekti za biološku obradu za II fazu postrojenja, bez hidromašinske opreme.

Izgrađena I faza postrojenja nije kompletno u funkciji, dok je za II fazu (dupliranje kapaciteta), osim što su izvedeni građevinski radovi na objektima bioaeracionih bazena, planiran i odvojen prostor za izgradnju ostalih planiranih objekata.

Sva oprema postavljenih i izgrađenih objekata I faze nije u funkciji. Tako ne rade objekti za:

- stabilizaciju mešanog mulja (neobrađenog primarnog mulja i viška aerobno stabilizovanog aktivnog mulja):
- ugušćavanje sirovog mešanog mulja u dekanteru
- anaerobno vrenje mešanog mulja u digestoru

Planirano hidrauličko opterećenje kompletnog postrojenja iznosi 300 l/s, a trenutno eksploataciono hidrauličko opterećenje postavljenog postrojenja iznosi oko 150 l/s mešane komunalne i industrijske otpadne vode.

Odnos komunalnih i industrijskih otpadnih voda u mešanim kanalizacionim vodama je 1:2.

1.4.3. Tehnologija prečišćavanja

Postrojenje za prečišćavanje kanalizacionih otpadnih voda "Mlakovac"- Gornji Milanovac je projektovano za prečišćavanje mešanih komunalnih i predtretiranih industrijskih otpadnih voda.

Projektovana i postavljena tehnologija prečišćavanja je tehnologija aerobne obrade otpadnih voda aktivnim muljem sa srednjim masenim opterećenjem.

Projektovana i postavljena tehnologija prečišćavanja bazira na aerobnom tretmanu otpadne vode, koji se razdvaja od aktivnog mulja pre evakuacije u recipijent, reku Despotovicu, kao i anaerobnom tretmanu mešanog mulja, sa stabilizacijom otpadnog mulja anaerobnim vrenjem u digestoru, mehaničkim ocedujem i odlaganjem otpadnog mulja na gradsku deponiju komunalnog otpada.

Projektovana i postavljena tehnologija prečišćavanja se sastoji od sledećih operacija:

- primarna obrada
- sekundarna obrada
- evakuacija tretirane otpadne vode
- tretman i evakuacija mulja
- tretman i iskorišćenje biogasa

– **Primarna obrada**

Primarna obrada se sastoji od mehaničke obrade kanalizacione otpadne vode. U okviru primarne obrade su postavljeni sledeći postupci:

- fina separacija komadnog čvrstog otpada
- separacija peska
- gravitaciona separacija primarnog mulja

Transport kanalizacione vode se kroz kompletan postupak vrši kanalima. Od postavljenih objekata i uređaja u okviru primarne obrade se nalaze:

- 1) **ulivna građevina** - ukopani šaht sa zasunom, ispred koga je postavljen bajpas odvod, za slučaj potrebe isključivanja objekta iz funkcije, pri intervenciji na instaliranoj opremi, koji neprerađenu kanalizacionu vodu odvodi u recipijent
- 2) **pumpna stanica** - dve otvorene pužne pumpe za podizanje grubo separisane kanalizacione otpadne vode, dve šneke sa sopstvenim pogonom koritom i pogonom elektromotorima na vrhu šneka, kapaciteta 2×300 l/s
- 3) **fina rešetka** - ravna rešetka sa automatskim čistačem rešetke na poteznim kolicima i trakom za evakuaciju otpada, otvora rešetke oko 20 mm, postavljena na transportnom kanalu u okviru zatvorenog građevinskog objekta, u okviru koga se nalazi gornji deo pužnih pumpi sa elektromotorima
- 4) **separator peska** - paralelni pravougaoni aerisani betonski peskolovi sa prelivnim kanalima za separaciju ulja, masti pene i plivajućih nečistoća, kao i prihvatnom komorom za plivajući otpad, koji se iz betonske šahte meša sa otpadnim muljem i odvodi u digestor (trenutno na ugušćavanje i ceđenje), sa podužnim sistemom za uduvavanje vazduha uronjenim perforiranim cevima, sa sopstvenom duvaljkom za vaduh, sa potopljenim pumpama za povremeno evakuisanje peska sa dna peskolova, sa separatorom (sitom) za drenažu peska, kao i pratećim kontejnerom za prihvatanje ocedenog peska i evakuaciju peska sa postrojenja
- 5) **primarni taložnik** - betonski radijalni dekanter sa polumostom, sa lančanim sistemom za sakupljanje i potiskivanje pene i ulja i masti ka obodu dekantera, sa evakuacionom šahtom za ulja, masti i penu, koja evakuise plivajuće primese na mešanje sa otpadnim muljem, sa strugačima mulja obešenim na polumost sa sopstvenim pogonom po betonskom obodu bazena, sa kružnim nazubljenim prelivom za izbistrenu vodu, postavljenim koaksijalno uz spoljnu betonsku ivicu bazena, sa zonom za mulj na dnu dekantera, sa evakuacijom primarnog mulja pumpama iz muljne šahte

– **Sekundarna obrada**

Sekundarna obrada se sastoji od aerobne biološke obrade kanalizacione otpadne vode u postupku sa aktivnim muljem.

U okviru sekundarne obrade su postavljeni sledeći postupci:

- aerobna obrada otpadne vode aktivnim muljem
- separacija viška stabilizovanog mešanog primarnog i aktivnog mulja od tretirane otpadne vode - efluenta

Od postavljenih objekata i uređaja u okviru sekundarne obrade se nalaze:

- 1) **bioeracioni bazen za aerobnu obradu sa povratnim muljem u tehnologiji produžene aeracije** - dva pravougaona betonska bioeraciona bazena, zapremine od po 1 800 m³, sa planiranim hidrauličkim opterećenjem od 50-75 l/s po bazenu, sa 4 bloka tanjirastih difuzora potopljenih pri dnu bazena, ukupnog broja od 410 tanjirastih difuzora po bazenu, ukupnog kapaciteta od po 21.5 Nm³ vazduha po bazenu, projektovane potrošnje od oko 85 Nm³ vazduha, eksploatacione potrošnje oko 40 Nm³ vazduha, vremena aeracije otpadne vode od 4.5^h, sa meračima pH i rastvorenog O₂ na ulazu i izlazu svakog bazena, sa prelivom za evakuaciju homogenizovane aerobne obrađene vode i aktivnog mulja u na suprotnom zidu kanal, sa vraćanjem povratnog mulja u odnosu od 100-180% obodnim betonskim kanalom pored prvog bazena i mešanjem u betonskoj šahti na dovodnom kanalu sirove vode pre betonskog kanalskog razdelnika za betonske bazene
- 2) **gravitacioni separator mulja - naknadni taložnik** - betonska kružna taložnica tipa radijalnog dekantera, prečnika D=28 m, dubine 3.5 m, sa vremenom zadržavanja oko 3.5 h, sa koaksijalnim nazubljenim prelivom za separisanu otpadnu vodu u taložniku, strugačem mulja obešenim na produženom polumostu, sa sopstvenim pogonom gonjenim točkom po obodu betona spoljnog kruga dekantera, sa muljnom šahtom, kanalom za evakuaciju mulja do muljnih pužnih pumpi, koje podižu višak mulja na kanal pored prvog betonskog bioeracionog bazena

– **Evakuacija tretirane otpadne vode**

Gravitaciono separisana, prethodno aerobno tretirana, otpadna voda se evakuše u recipijent reku Despotovicu, preko mernog kanala sa Venturi merilom i meračima pH i kiseonika. Od postavljenih objekata i uređaja u okviru evakuacije tretirane otpadne vode se nalaze:

- 1) **izlivna građevina** - betonska građevina sa evakuacionim kanalom i Venturi meračem protoka efluenta, pre evakuacije u recipijent

– **Tretman i evakuacija mulja**

Stabilizacija otpadnog mešanog primarnog i viška aktivnog mulja iz procesa je projektovana da se vrši u digestoru anaerobnim postupkom.

Mešani mulj se ugušćava na kružnom betonskom gravitacionom taložniku i upućuje na vrenje u šaržni digestor.

Prevreli mulj se evakuše iz digestora, mehanički ugušćava u kružnom betonskom gravitacionom taložniku i upućuje na ceđenje na trakaste filter prese. Kondicioniranje prevrelog mulja pre ceđenja se vrši katjonskim polielektrolitom.

Oceđeni mulj se evakuše trakom u kontejner, odakle se odvozi na gradsku deponiju komunalnog otpada u Gornjem Milanovcu, koja se nalazi u istoj regiji, ali sa druge strane magistralnog puta.

- U okviru tretmana viška mešanog mulja su postavljeni sledeći postupci:evakuacija aktivnog mulja iz naknadnog taložnika muljnim pužnim pumpama
- kanalski transport i razdeljivanje aktivnog mulja u šahti sa zasunom
- mešanje viška aktivnog mulja i primarnog mulja u muljnoj šahti
- gravitaciono ugušćavanje sirovog mešanog mulja
- vrenje ugušćenog mešanog mulja u šaržnom digestoru
- gravitaciono ugušćavanje prevrelog mešanog mulja
- kondicioniranje i ceđenje ugušćenog prevrelog mulja trakastim filter presama

Od postavljenih objekata i uređaja u okviru kondicioniranja mulja se nalaze:

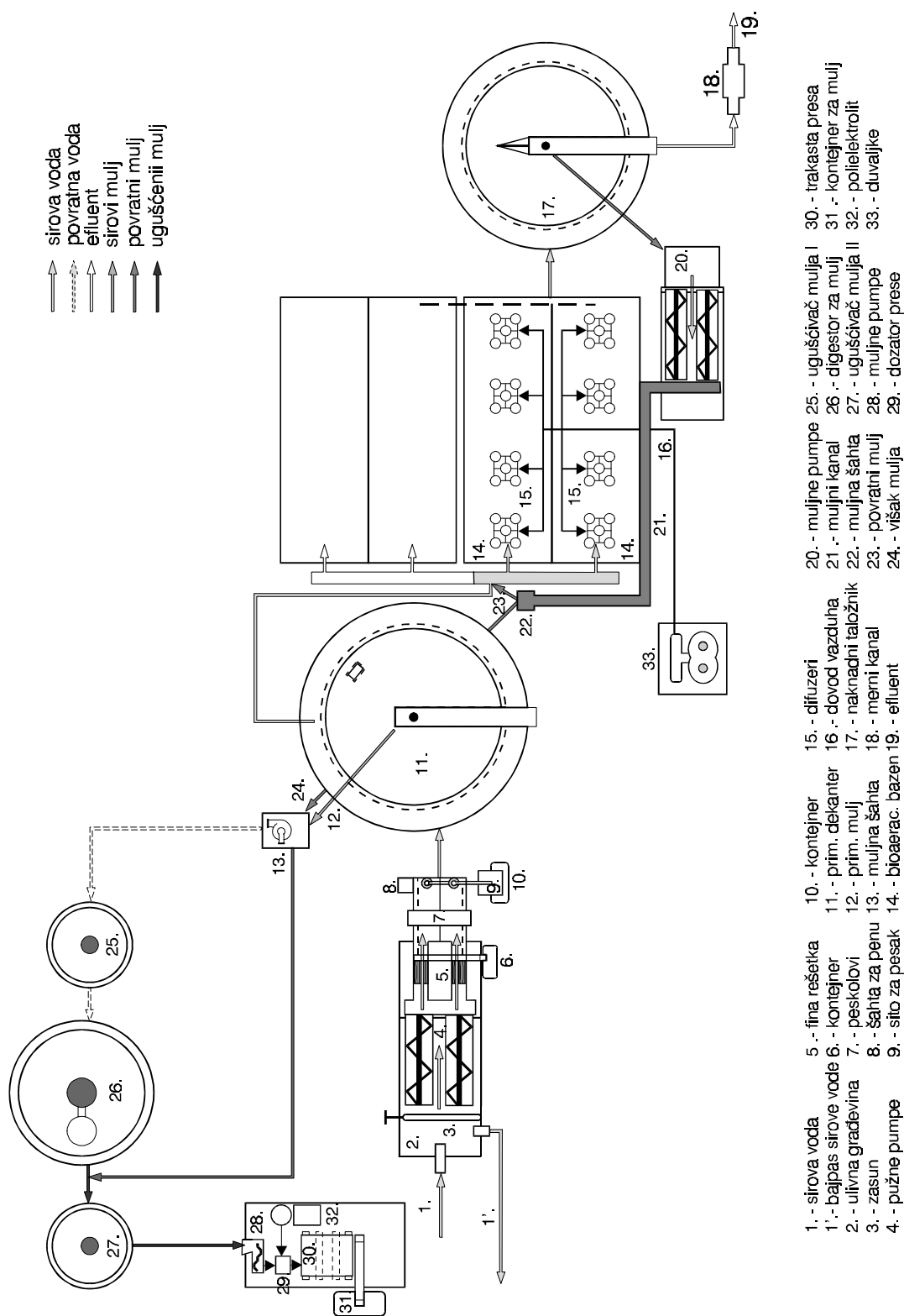
- 1) **muljna stanica za aktivni mulj** - betonski ukopani šaht, sa 2 pužne muljne pumpe za evakuaciju i transport aktivnog mulja do bioaeracionih bazena, kapaciteta oko 8 000 kg aktivnog mulja na dan,
- 2) **transportni sistem za aktivni mulj sa razdelnicom** - betonski kanal duž oboda prvog bioaeracionog bazena, sa muljnom šahtom za razdeljivanje aktivnog mulja na povratni mulj, koji se ubacuje u dovodni kanal sirove vode do bioloških bazena, dok se višak aktivnog mulja odvodi kanalom do muljne šahte primarnog mulja, odakle se potopljenim muljnim pumpama mešani mulj upućuje na prethodni ugušćivač
- 3) **prethodni ugušćivač sirovog mulja** - betonski bazen sa šaržnim pražnjenjem uređaja sa 2 muljne pumpe za evakuaciju u šaržni digestor za vrenje ugušćenog sirovog mešanog mulja
- 4) **digestor za sirovi mulj** - šaržni vertikalni reaktor za sirovi mulj, za anaerobno vrenje sirovog mulja u jednom reaktoru, sa pratećom opremom za evakuaciju prevrelog mulja, opremom za prihvat i evakuaciju oslobođenog biogasa, sistemom za transport biogasa do postrojenja za tretman biogasa - energane sa gasodizel motorima u okviru objekta, kao i sa bakljom za sagorevanje viška biogasa
- 5) **naknadni ugušćivač prevrelog mulja** - betonski bazen sa šaržnim pražnjenjem uređaja sa 2 vijčane muljne pumpe za evakuaciju ugušćenog mulja na prese za ceđenje prevrelog mulja
- 6) **trakaste prese za ceđenje ugušćenog prevrelog mulja** - mehaničke trakaste filter prese za ugušćeni prevreli mulj, sa prethodnim automatskim doziranjem polielektrolita za kondicioniranje mulja u mešač iznad razdelnika presa, sa postrojenjem za automatsku pripremu polielektrolita i dozirnim pumpama za napajanje presa, sa prihvatnom trakom za oceđeni mulj, koja evakuše oceđeni stabilizovani mulj u spoljni kontejner
- 7) **privremeno deponovanje oceđenog mulja** - privremeno deponovanje anaerobno stabilizovanog i oceđenog otpadnog mulja se vrši u kontejneru na lokaciji objekta postrojenja, a konačno odlaganje je na gradsku deponiju komunalnog otpada

Kako ovaj deo postrojenja nije kompletno pušten u funkciju, to se eksploatacioni tretman mešanog mulja obavlja u sledećim objektima i uređajima:

- 1) **ugušćivač sirovog mulja** (naknadni muljni ugušćivač iz šeme) - betonski bazen sa šaržnim pražnjenjem uređaja sa 2 vijčane muljne pumpe za napajanje trakstih filter presa sirovim mešanim muljem
- 2) **trakaste prese za cedenje ugušćenog sirovog mulja** - mehaničke trakaste filter prese za ugušćeni sirovi mulj, sa prethodnim automatskim doziranjem polielektrolita za kondicioniranje mulja u mešač iznad razdelnika presa, sa postrojenjem za automatsku pripremu polielektrolita i dozirnim pumpama za napajanje presa, sa prihvatnom trakom za ocedeni mulj, koja evakuiše ocedeni sirovi mulj u spoljni kontejnere
- 3) **privremeno deponovanje ocedenog mulja** - privremeno ocedenog otpadnog sirovog mulja se vrši u kontejneru na lokaciji objekta postrojenja, a konačno odlaganje je na gradsku deponiju komunalnog otpada

Postrojenje za transport i tretman bioagasa, koje je planirano projektom, nije uopšte postavljeno, već je ostavljeno kompletno za II fazu izgradnje postrojenja.

Slika 10 - Blok šema postrojenja "Mlakovac" u Gornjem Milanovcu



1.4.3. Efikasnost prečišćavanja

Efikasnost prečišćavanja se kontroliše preko hemijskih analiza ulaznih i izlaznih parametara otpadne vode. Analize vrši regionalni Zavod za zaštitu zdravlja, sektor za higijenu i medicinsku ekologiju iz Kraljeva.

U daljem tekstu daćemo prikaz analitičkog priloga Zapisnika dve analize od 10.02. i 11.02.1998. godine.

Naziv preduzeća: JKP "17 septembar"
 Mesto i opština: Gornji Milanovac
 Pogon: postrojenje za prečišćavanja otpadnih voda grada
 Razmaci i količine: neprekidno
 Recipijent: reka Despotovica

Tabela 3. - Rezultati hemijske analize na ulivu u recipijent

Kvalitet	J edinica	Otpadna voda 10.02.1998.	Otpadna voda 11.02.1998.	MDK za uliv
(1)	(2)	(3).	(4).	(5)
izgled vode	-	providna	mutna	-
vidljive otpadne materije	-	prisutne	prisutne	bez
temperatura vazduha	°C	7.5	7.5	-
temperatura vode	°C	0.6	0.2	-
mutnoća	NTU	6.0	7.2	-
boja	°Pt-Co skale	15	10	-
pH	-	8.1	7.99	6.0-9.0
Elektroprovodljivost	µS	364	390	-
nitriti - kao N ₂ O ₅	mg/l	1.65	2.141	15.0
nitriti - kao N ₂ O ₃	mg/l	0.071	0.109	0.5
amonijak - kao NH ₃	mg/l	0.975	1.992	10.0
hloridi - kao Cl ⁻	mg/l	16.0	21.0	-
utrošak KMnO ₄	mg/l	41.09	13.59	-
hem. potrošnja kiseonika - HPK	mg/l	32.87	10.87	40
biohem. potr. kiseonika - BPK ₅	mg/l	24.72	8.15	20
alkalitet	ml n/10 HCl	30	35	-
tvrdoća vode	°dH	13.44	16.24	-
kalcijum - kao Ca	mg/l	52.1	48.09	-
magnezijum - kao Mg	mg/l	1.81	2.42	-
gvožđe - kao Fe	mg/l	0.333	0.333	1.0
mangan - kao Mn	mg/l	0.000	0.000	-
sulfati - kao SO ₄ ⁻²	mg/l	55.06	62.1	-
fosfati - kao PO ₄ ⁻³	mg/l	1.904	1.183	-
kiseonik - kao O ₂	mg/l	16.81	15.53	> 3.0
zasićenje sa O ₂	%	118.71	109.67	> 30.0
ostatak isparenja nefiltr. vode	mg/l	360	342	1 650
ostatak isparenja filtrirane vode	mg/l	336	316	-
suspendovane materije	mg/l	24	26	100
sedimentne materije	mg/l	0.00	0.00	-

Nastavak tabele 3.

(1)	(2)	(3).	(4).	(5)
deterdženti (ABS)	mg/l	0.24	0.00	-
masti i ulja derivati nafte	mg/l	0.0	0.0	-
fenolne materije	mg/l	0.002	0.0	0.3
olovo - kao Pb	mg/l	0.001	0.000	0.1
cink - kao Zn	mg/l	0.013	0.013	1.0
kadmijum - kao Cd	mg/l	0.009	0.006	0.01
bakar - kao Cu	mg/l	0.008	0.008	0.1
arsen - kao As	mg/l	-	-	-
hrom Cr ⁺³	mg/l	0.015	0.006	0.1
hrom Cr ⁺⁶	mg/l	0.000	0.000	-
nikl - kao Ni	mg/l	0.008	0.017	0.1

Komentar:

Na osnovu dobijenih ispitivanja fizičko-hemijskih karakteristika otpadnih voda iz gradske kanalizacije u Gornjem Milanovcu na ulivu u recipijent posle prečišćavanja, uzorkovanih 10.02. i 11.02.1998. godine može se reći sledeće:

1. mehanička separacija otpadne vode nije dovoljno kvalitetna, tako da se u obe analize javljaju vidljive otpadne materije u efluentu
2. biološka obrada otpadnih voda nije optimalno rešena, pošto dolazi do proboja BPK₅ u recipijent (za oko 25% preko MDK), iako je ulazno organsko opterećenje nisko (ispod 100 mg BPK₅/l), usled velike količine industrijskih otpadnih voda u kanizacionim vodama
3. neki teški metali, pre svih Cu, Cd, Ni, koji potiču mahom iz izdustrijskih otpadnih voda, su jako blizu MDK (na -10-20% od MDK), što pokazuje da industrijski predtretman ili nije uvek adekvatan, ili se povremeno isključuje

1.4.5. Eksploatacioni problemi na postrojenju

Tokom eksploatacionog perioda od 1993. godine su uočeni sledeći problemi u radu:

- u slučaju visokih padavina dolazi značajna količina komadnog otpada i drugog nanosa, koji zaglavljaju pumpe i finu rešetku, pa se mora kanizaciona voda prebacivati na bajpas tok, a ulivna građevina i oprema se ručno čistiti od nanosa
- industrijska otpadna voda, posebno iz objekta prehrambene industrije "Takovo", povremeno, a ponekad i iz metalnih industrijskih objekata kada ne rade sistemi za predtretman industrijske otpadne vode pre upuštanja u kanalizaciju, menja fizičke karakteristike, organsko i hemijsko opterećenje kanizacionih otpadnih voda, koje dolaze na postrojenje, što izaziva udare na postrojenju, posebno u delu biološke obrade, sa naglim rastom mase mikroorganizama, kada je tretiranu vodu teško razdvojiti od aktivnog mulja
- najveći problem u radu stvarala je mehanika na postrojenju, posebno ležajevi na pogonskim točkovima mostova, oprema na duvaljkama, kao i trake za ceđenje mulja, koje su često pucale neposredno uz spoj
- stabilizacija mulja nije uopšte rešena, tako da se sirovi ne stabilizovani mulj upućuje na trakaste filter prese, čime se značajno otežava ocedivanje i što daje niže efekte ceđenja mulja

1.4.6. Zapažanja na postrojenju

Na bazi informacija od odgovornih lica na postrojenju, dostupnih analiza regionalnog Zavoda za zaštitu zdravlja u Kraljevu, kao i prospekcije na terenu, na postojećem postrojenju za prečišćavanje otpadnih voda "Mlakovac" u Gornjem Milanovcu, mogu se postaviti sledeća zapažanja:

1. Postrojenje je postavljeno prema tehnologiji PASAVANT, sa tehnologijom tipa aeracije otpadne vode sa aktivnim muljem, srednjeg organskog opterećenja
2. Postrojenje po kapacitetu zadovoljava sadašnje potrebe angažovane komunalne kanalizacije u Gornjem Milanovcu, mada izabrana tehnologija ne može uspešno garantovati potreban izlazni BPK₅ od 20 mg BPK₅/l, posebno kada postrojenje bude kompletno u uslovima optimalnih kapaciteta industrijskih otpadnih voda
3. Eksploataciono hidrauličko opterećenje postrojenja u I fazi iznosi oko 100-150 l/s (360-540 m³/h)
4. Postrojenje je nisko opterećeno organskim opterećenjem (oko 100 mgBPK₅/l)
5. Postrojenje nije sa zadovoljavajućim kvalitetom efluenta, pošto ide i preko MDK od 20 mgBPK₅/l
6. Efikasnost izabrane i postavljene tehnologije, od oko 80-90% za uklanjanje organskog opterećenja, ne zadovoljava maksimalno kvalitete kanizacionih mešanih komunalnih i industrijskih otpadnih voda i efluenta, reke Despotovice
7. Kvalitet aeracije (količina vazduha i tehnika aerisanja) je na zadovoljavajućem nivou, tako da je aerobnost postupka visoko zastupljena u bioaeracionim bazenima, što se može videti iz iz sadržaja O₂ u efluentu
8. Izabrana i postavljena tehnologija zadovoljava u najvećem broju parametara kvalitete kanizacionih mešanih komunalnih i industrijskih otpadnih voda i efluenta, reke Despotovice
9. Izabrana i postavljena tehnologija ne zadovoljava u potpunosti kvalitet sadržaja vidljivih primesa, kao i povremeno BPK₅, a većina teških metala je na samoj granici MDK za reku Despotovicu
10. Trenutno postavljena operacija ceđenja sirovog nestabilizovanog mešanog mulja ne zadovoljava, kako po tehničkom rešenju, tako i po tehnološkom rešenju potreban kvalitet mulja za ceđenje i odlaganje
11. Organizacija rada na postrojenju, kao i odnos prema postrojenju i postupku na postrojenju odgovornih i zaposlenih lica na postrojenju je na značajno visokom nivou
12. Kvalitet rada postrojenja će se značajno poboljšati po uključivanju u rad dela objekata za treman mulja
13. Postrojenje poseduje automatski panel za kontrolu procesa, kao i dobro opremljenu pogonsku laboratoriju u okviru postrojenja
14. Kadrovska struktura na postrojenju je dobra, ali bi se kvalitet rada značajno poboljšao određenom kadrovskom transformacijom i proširenjem kako broja, tako i strukture kadra na postrojenju

Opšte zapažanje o postrojenju je globalno pozitivno, manje u delu izabrane i postavljene tehnologije i tehnike, a više eksploatacijom i odnosom prema postrojenju u eksploataciji.

Tip postrojenja nije optimalno primenljiv za naše uslove za mesta sa opterećenjem kanizacionog sistema do 100 000 ES (2×50 000 ES) kod nas, zbog postavljene nedovoljno efikasne biološke obrade.

1.4.7. Predlog mera za poboljšavanje kvaliteta rada na postrojenju

Da bi se kvalitet rada postrojenja doveo na zahtevani nivo sa stanovišta recipijenta potrebno bi bilo modifikovati, bilo doraditi sledeće pozicije:

- 1) Poštovati pravilnik donet na nivou SO Gornji Milanovac o potrebnom kvalitetu otpadnih voda koje se upuštaju u gradsku kanalizaciju za sve industrijske i druge proizvodne objekte u Gornjem Milanovcu
- 2) Izraditi analizu ispunjenosti uslova u svim industrijskim i drugim proizvodnim objektima, koji su priključeni svojom kanalizacijom na postrojenje "Mlakovac"
- 3) Razmisliti o uvođenju stabilizacionog predbazena za prihvatanje nanosa, postavljenog ispred ulazne građevine, za predupređivanje zasipanja i opterećivanja pumpi i fine rešetke u kišnom periodu, ili kod nekontrolisane evakuacije sedimenta iz industrijskih i drugih proizvodnih objekata u kanalizaciju
- 4) Poboljšati tehničko rešenje tretmana BPK₅ u biološkim bazenima, ili uvesti korektivni tretman BPK₅ na efluentu, pošto je postojeće rešenje u vidu pravougaonih betonskih bioaeracionih bazena sa produženom aeracijom, nedovoljno za potrebnu efikasnost BPK₅, već je potrebno izvršiti transformaciju na aeraciju sa više opterećenim postrojenjima sa BPK₅, naravno, tek posle odvajanja sistema kišne kanalizacije od kanalizacionog sistema u Gornjem Milanovcu
- 5) Uvesti dezinfekciju efluenta pre upuštanja u efluent, kako bi se popravio mikrobiološki kvalitet efluenta u odnosu na recipijent
- 6) Razmisliti o uvođenju hemijskog kondicioniranja za ceđenje mulja dok se ne aktivira postrojenje za anaerobnu stabilizaciju otpadnog mulja

Slika 11 - Detalj sa postrojenja - Bioeracioni bazen sa kanalom za povratni mulj



Slika 12 - Detalj sa postrojenja - Digestor za anaerono truljenje mulja



1.5. Postrojenje "Cvetojevac" - Kragujevac

1.5.1. Opšti podaci o postrojenju

Postrojenje za prečišćavanje kanalizacionih otpadnih voda "Cvetojevac" - Kragujevac se nalazi sa desne strane magistralnog puta Batočina-Kragujevac. Postrojenje je jedini građevinski objekat na tom delu puta iz pravca Batočine. Postrojenje je locirano izvan gradske zone, u ataru sela Cvetojevac. Oko postrojenja se nalazi ratarsko obradivo zemljište. Od magistralnog puta do kapije ograđenog kompleksa postrojenja je postavljena interna saobraćajnica.

Postrojenje je izgrađeno tokom jeseni 1989. godine, a pušteno je u rad krajem 1990. godine.

Postrojenje je urađeno po projektu "Energoprojekta" iz Beograda, a tehnologija i oprema su nabavljeni od "Unioninvesta" iz Sarajeva.

Na postrojenju se prečišćavaju kanalizacione vode grada Kragujevca, koje obuhvataju komunalne otpadne vode i industrijske otpadne vode svih industrijskih objekata Kragujevca, za koje je predviđen kompletan predtretman za upuštanje u sistem gradske kanalizacije. Industrijski objekti najvećim brojem spadaju u objekte mašinske industrije, čije otpadne vode mogu imati veoma negativan učinak na rad postrojenja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda, odnosno na sekundarnu obradu.

Kapaciteti otpadnih voda iz industrijskih objekata su značajno veliki. Odnos kapaciteta industrijskih otpadnih voda prema komunalnim otpadnim vodama u kanalizacionom sistemu Kragujevca je oko 60%:40%, a ide i do 70%:30%.

Zbog poznatih problema bombardovanja i uništavanja vitalnih industrijskih objekata u Kragujevcu, pre svega pogona fabrike "Zastava", sadašnji odnos hidrauličkih opterećenja kanalizacionog sistema industrijskim i komunalnim otpadnim vodama je trenutno značajno niži, odnosno hidrauličko opterećenje postrojenja industrijskim otpadnih voda je sigurno ispod 50%.

Recipijent za efluent, tretiranu otpadnu vodu iz postrojenja, je reka Lepenica, koja prolazi u neposrednoj blizini kompleksa postrojenja. Reka Lepenica je kategorisana kao voda IV kategorije.

1.5.2. Kapacitet postrojenja

Postrojenje za prečišćavanje kanalizacionih otpadnih voda "Cvetojevac"- Kragujevac je projektovano za prečišćavanje mešanih komunalnih i predtretiranih industrijskih otpadnih voda.

Postrojenje je zamišljeno kao paralelna postavka dve linije sa po 2+2 (četiri) bloka biloških postrojenja za aerobnu obradu otpadne vode aktivnim muljem, sa sopstvenim primarnim i naknadnim taložnicima, a sa zajedničkim ulaznim i izlaznim uređajima, kao i sa zajedničkim uređajima za tretman mulja. Izgradnja postrojenja je zamišljena u dve faze:

- I faza - ulazni objekti i uređaji za kompletno postrojenje
- primarani taložnici za polovinu planiranog kapaciteta
 - biološko postrojenje za polovinu planiranog kapaciteta
 - naknadni taložnici za polovinu planiranog kapaciteta
 - izlazni objekti i uređaji za kompletno postrojenje
 - kompletna linija objekata za tretman mulja
 - postrojenje za tretman i iskorišćenje biogasa- energetski blok

- II faza - primarani taložnici za drugu polovinu planiranog kapaciteta
- biološko postrojenje za drugu polovinu planiranog kapaciteta
 - naknadni taložnici za drugu polovinu planiranog kapaciteta

Planirani kapacitet kompletnog postrojenja iznosi 250 000 ES (2×125 000 ES). Planirani udeo industrijskih otpadnih voda je oko 150 000 ES, a komunalnih otpadnih voda je oko 100 000 ES.

Izgrađena je I faza postrojenja sa planiranim kapacitetom od 125 000 ES. Trenutni eksploatacioni kapacitet postrojenja je oko 80 000 - 100 000 ES.

Izgrađena I faza postrojenja je kompletno u funkciji, dok je za II fazu (dupliranje kapaciteta), osim što je izveden deo građevinskih radova (kanali za pužne pumpe i sl.) planiran i odvojen prostor za izgradnju ostalih planiranih objekata. Sva oprema postavljenih i izgrađenih objekata I faze je u funkciji.

Planirano hidrauličko opterećenje kompletnog postrojenja iznosi oko $2 \times 1\,510$ l/s. Planirani odnos komunalnih i industrijskih otpadnih voda u mešanim kanalizacionim vodama je 1:1.5.

1.53. Tehnologija prečišćavanja

Postrojenje za prečišćavanje kanalizacionih otpadnih voda "Cvetojevac"- Kragujevac je projektovano za prečišćavanje mešanih komunalnih i predtretiranih industrijskih otpadnih voda.

Projektovana i postavljena tehnologija prečišćavanja je tehnologija aerobne obrade otpadnih voda aktivnim muljem sa visokim masenim opterećenjem.

Projektovana i postavljena tehnologija prečišćavanja bazira na aerobnom tretmanu otpadne vode, koji se razdvaja od aktivnog mulja pre evakuacije u recipijent, reku Lepenicu, kao i anaerobnom tretmanu mešanog mulja, sa stabilizacijom otpadnog mulja anaerobnim vrenjem u blok digestoru, mehaničkim ceđejem i odlaganjem otpadnog mulja na gradsku deponiju komunalnog otpada.

Projektovana i postavljena tehnologija prečišćavanja se sastoji od sledećih operacija:

- primarna obrada
- sekundarna obrada
- evakuacija tretirane otpadne vode
- tretman i evakuacija mulja
- tretman i iskorišćenje biogasa
- **Primarna obrada**

Primarna obrada se sastoji od mehaničke obrade kanalizacione otpadne vode. U okviru primarne obrade su postavljeni sledeći postupci:

- fina separacija komadnog čvrstog otpada
- separacija peska
- gravitaciona separacija primarnog mulja

Transport kanalizacione vode se kroz kompletan postupak vrši kanalima.

Od postavljenih objekata i uređaja u okviru primarne obrade za I fazu se nalaze:

- 1) **ulivna građevina** - ukopani šaht sa zasunom, ispred koga je postavljen bajpas odvod, za slučaj potrebe isključivanja objekta iz funkcije, pri intervenciji na instaliranoj opremi, koji neprerađenu kanalizacionu vodu odvodi u recipijent, kao i gruba rešetka
- 2) **pumpna stanica** - tri otvorene pužne pumpe za (2+1) za podizanje grubo separisane kanalizacione otpadne vode, dve šneke sa sopstvenim pogonom koritom i pogonom elektromotorima na vrhu šneka, kapaciteta 3×600 l/s
- 3) **fine rešetke** - dve ravne rešetke sa automatskim čistačem rešetke na poteznim kolicima i trakom za evakuaciju otpada, otvora rešetke oko 20 mm, postavljena na transportnom kanalu u okviru zatvorenog građevinskog objekta, u okviru koga se nalazi gornji deo pužnih pumpi sa elektromotorima

- 4) **separatori peska** - dva paralelna pravougaona aerisana betonska peskolova(1+1), sa prelivnim kanalima za separaciju ulja, masti pene i plivajućih nečistoća, kao i prihvatnom komorom za plivajući otpad, koji se iz betonske šahte meša sa otpadnim muljem i odvodi u digester (trenutno na ugušćavanje i ceđenje), sa podužnim sistemom za uduvavanje vazduha uronjenim perforiranim cevima, sa sopstvenom duvaljkom za vaduh, sa pokretnim potopljenim pumpama za povremeno evakuisanje peska sa dna peskolova, postavljenim na pokretnom mostu sa strugačem peska, sa separatorom (sitom) za drenažu peska, kao i dva prateća kontejnera za prihvat ocedenog peska i evakuaciju peska sa postrojenja, postavljena u prednjem i zadnjem položaju pokretnog mosta
- 5) **primarni taložnici** - dva betonska radijalna dekantera sa polumostom, sa lančanim sistemom za sakupljanje i potiskivanje pene, ulja i masti ka obodu dekantera, sa evakuacionom šahtom za ulja, masti i penu, koja evakuše plivajuće primese na mešanje sa otpadnim muljem, sa strugačima mulja obešenim na polumost sa sopstvenim pogonom po betonskom obodu bazena, sa kružnim nazubljenim prelivom za izbistrenu vodu, postavljenim koaksijalno uz spoljnu betonsku ivicu bazena, sa zonom za mulj na dnu dekantera, sa evakuacijom primarnog mulja pumpama iz muljne šahte, površine $2 \times 1384 \text{ m}^2$, dubine 3.5 m, sa vremenom zadržavanja $\approx 3^h$

– **Sekundarna obrada**

Sekundarna obrada I faze se sastoji od aerobne biološke obrade kanalizacione otpadne vode u postupku sa aktivnim muljem.

U okviru sekundarne obrade su postavljeni sledeći postupci:

- aerobna obrada otpadne vode aktivnim muljem
- separacija viška stabilizovanog mešanog primarnog i aktivnog mulja od tretirane otpadne vode - efluenta

Od postavljenih objekata i uređaja u okviru sekundarne obrade za I fazu se nalaze:

- 1) **bioeracioni bazen za aerobnu obradu sa povratnim muljem u tehnologiji produžene aeracije** - 2×2 pravougaona betonska bioeraciona bazena (3+1), dimenzija $4 \times 10.6 \times 85 \text{ m}$, sa 4 bloka tanjirastih difuzora potopljenih pri dnu bazena, ukupnog broja od 4 240 tanjirastih difuzora, projektovane potrošnje vazduha od $2 \text{ kgO}_2/\text{kgBPK}_5$, vremena aeracije otpadne vode od 3.7^h , sa meračima pH i rastvorenog O_2 na ulazu i izlazu svakog bazena, sa prelovom za evakuaciju homogenizovane aerobne obrađene vode i aktivnog mulja na suprotnom zidu kanala, sa vraćanjem povratnog mulja u odnosu od 90-100% obodnim betonskim kanalom pored prvog bazena i mešanjem u betonskoj šahti na dovodnom kanalu sirove vode pre betonskog kanalskog razdelnika za betonske bazene
- 2) **gravitacioni separator mulja - naknadni taložnik** - 2 betonska kružna taložnika tipa radijalnog dekantera, površine $2 \times 1962.5 \text{ m}^2$, dubine 3.5 m, sa vremenom zadržavanja oko 3.6 h, sa koaksijalnim nazubljenim prelivom za separisanu otpadnu vodu u taložniku, strugačem mulja obešenim na produženom produženom polumostu, sa sopstvenim pogonom gonjenim točkom po obodnu betona spoljnog kruga dekantera, sa muljnom šahtom, kanalom za evakuaciju mulja do muljnih pužnih pumpi, koje podižu višak mulja na kanal pored prvog betonskog bioeracionog bazena

– **Evakuacija tretirane otpadne vode**

Gravitaciono separisana, prethodno aerobno tretirana, otpadna voda se evakuše u recipijent reku Lepenicu, preko mernog kanala sa Venturi merilom i meračima pH i kiseonika.

Od postavljenih objekata i uređaja u okviru evakuacije tretirane otpadne vode se nalaze:

- 1) **izlivna građevina** - betonska građevina sa evakuacionim kanalom i Venturi meračem protoka efluenta, pre evakuacije u recipijent

– **Tretman i evakuacija mulja**

Stabilizacija otpadnog mešanog primarnog i viška aktivnog mulja iz procesa je predviđena da se vrši u digestoru anaerobnim postupkom.

Mešani mulj se ugušćava na kružnom betonskom gravitacionom taložniku i upućuje na vrenje u šaržni blok digestor sa unutrašnjom recirkulacijom mulja između dva digestora.

Prevreli mulj se evakuše iz digestora, mehanički ugušćava u kružnom betonskom gravitacionom taložniku i upućuje na ceđenje na trakaste filter prese. Kondicioniranje prevrelog mulja pre ceđenja se vrši katjonskim polielektrolitom.

Ocedeni mulj se evakuše trakom u kontejner, odakle se odvozi na gradsku deponiju komunalnog otpada u Kragujevcu.

U okviru tretmana viška mešanog mulja su postavljeni sledeći postupci:

- evakuacija aktivnog mulja iz naknadnog taložnika muljnim pužnim pumpama
- kanalski transport i razdeljivanje aktivnog mulja u šahti sa zasunom
- mešanje viška aktivnog mulja i primarnog mulja u muljnoj šahti
- gravitaciono ugušćavanje sirovog mešanog mulja
- vrenje ugušćenog mešanog mulja u šaržnom blok digestoru
- gravitaciono ugušćavanje prevrelog mešanog mulja
- kondicioniranje i ceđenje ugušćenog prevrelog mulja trakastim filter presama

Od postavljenih objekata i uređaja u okviru kondicioniranja mulja se nalaze:

- 1) **muljna stanica za aktivni mulj** - betonski ukopani šaht, sa tri (2+1) pužne muljne pumpe za evakuaciju i transport aktivnog mulja do bioaeracionih bazena
- 2) **transportni sistem za aktivni mulj sa razdelnicom** - betonski kanal, sa muljnom šahtom za razdeljivanje aktivnog mulja na povratni mulj, koji se ubacuje u dovodni kanal sirove vode do bioloških bazena, dok se višak aktivnog mulja odvodi kanalom do muljne šahte primarnog mulja, odakle se potopljenim muljnim pumpama mešani mulj upućuje na prethodni ugušćivač
- 3) **prethodni ugušćivač sirovog mulja** - betonski bazen sa šaržnim pražnjenjem uređaja sa 2 muljne pumpe za evakuaciju u šaržni digestor za vrenje ugušćenog sirovog mešanog mulja
- 4) **blok digestor za sirovi mulj** - dva šaržna vertikalna reaktora sa međusobnom recirkulacijom mulja, za anaerobno vrenje sirovog mulja, sa pratećom opremom za evakuaciju prevrelog mulja, opremom za prihvatanje i evakuaciju oslobođenog biogasa, kao i sistemom za transport biogasa do postrojenja za tretman biogasa - energane u okviru objekta sa gasodizel motorima, kao i bakljom za sagorevanje viška biogasa
- 5) **naknadni ugušćivač prevrelog mulja** - betonski bazen sa šaržnim pražnjenjem uređaja sa 2 vijčane muljne pumpe za evakuaciju ugušćenog mulja na prese za ceđenje prevrelog mulja
- 6) **trakaste prese za ceđenje ugušćenog prevrelog mulja** - mehaničke trakaste filter prese za ugušćeni prevreli mulj, sa prethodnim automatskim doziranjem polielektrolita za kondicioniranje mulja u mešač iznad razdelnika presa, sa

1.5.4. Efikasnost prečišćavanja

Efikasnost parametara prečišćavanja se kontroliše preko hemijskih analiza ulaznih i izlaznih parametara otpadne vode. Analize vrši regionalni Zavod za zaštitu zdravlja, sektor za higijenu i medicinsku ekologiju iz Kragujevca.

U daljem tekstu daćemo prikaz analitičkog priloga Zapisnika analize od 09.10.1998. godine.

Naziv preduzeća:	JKP "Vodovod"
Mesto i opština:	Cvetojevac, Kragujevac
Pogon:	postrojenje za prečišćavanja otpadnih voda grada
Razmaci i količine:	neprekidno
Recipijent:	reka Lepenica

Tabela 4. - Rezultati hemijske analize na ulivu u recipijent

Kvalitet	Jedinica	Lepenica uzvodno	izliv iz PPOV	Lepenica nizvodno
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
izgled vode	-	žuta	žuta	žuta
vidljive otpadne materije	-	sed. čestice	sed. čestice	sed. čestice
temperatura vazduha	°C	24	24	24
temperatura vode	°C	21	23	21
mutnoća	NTU	70	50	50
boja	°Pt-Co skale	30	25	40
pH	-	7.7	7.4	7.7
Elektroprovodljivost	µS	540	550	500
nitriti - kao N_2O_5	mg/l	0.35	0.05	0.35
nitriti - kao N_2O_3	mg/l	0.076	0.002	0.061
amonijak - kao NH_3	mg/l	8.47	10.1	5.0
hloridi - kao Cl^-	mg/l	50.0	56.0	48.0
utrošak $KMnO_4$	mg/l	76.23	42.28	46.12
hem. potrošnja kiseonika - HPK	mg/l	19.06	10.07	11.53
biohem. potr. kiseonika - BPK_5	mg/l	16.20	8.98	9.80
alkalitet	ml n/10 HCl	70.0	60.0	74.0
tvrdooća vode	°dH	15.68	12.88	17.92
kalcijum - kao Ca	mg/l	80.08	56.06	68.07
magnezijum - kao Mg	mg/l	19.22	21.64	36.08
gvožđe - kao Fe	mg/l	0.11	0.05	0.34
mangan - kao Mn	mg/l	0.25	0.15	0.20
sulfati - kao SO_4^{-2}	mg/l	83.22	90.90	84.50
fosfati - kao PO_4^{-3}	mg/l	0.322	0.374	0.242
kiseonik - kao O_2	mg/l	4.11	2.30	5.73
ostatak isparenja nefiltr. vode	mg/l	672	402	464
ostatak isparenja filtrirane vode	mg/l	492	374	424
suspendovane materije	mg/l	180	28	40
sedimentne materije	mg/l	0.8	u tragu	0.5
deterdženti (ABS)	mg/l	0.013	0.013	0.014
masti i ulja	mg/l	96.0	16.0	96.0

Nastavak tabele 4.

(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
fenolne materije	mg/l	0.001	0.001	0.000
olovo - kao Pb	mg/l	<0.05	<0.05	<0.05
cink - kao Zn	mg/l	0.396	0.284	1.139
kadmijum - kao Cd	mg/l	<0.005	<0.005	<0.005
bakar - kao Cu	mg/l	0.426	0.374	0.377
hrom ukupni	mg/l	<0.1	<0.1	<0.1
nikl - kao Ni	mg/l	0.059	0.050	0.071

Komentar:

Na osnovu dobijenih ispitivanja fizičko-hemijskih karakteristika otpadnih voda J.K.P. VODOVOD - Postrojenje za preradu otpadnih voda grada Kragujevca, od 09.10.1988. god. (lab. broj 187, 188, 189), može se reći sledeće:

1. otpadne vode po većini ispitivanih parametara nisu pokazivale znake značajnijeg opterećenja, osim u pogledu sadržaja amonijaka (10.01 mg/l), masti i ulja (16.0 mg/l) i bakra (0.374 mg/l), uz smanjenu koncentraciju kiseonika (2.30 mg/l), koje bi mogle da utiču na vodotok kao konačni recipijent
2. predtretmani industrijskih otpadnih voda u industrijskim objektima u Kragujevcu ne funkcionišu najbolje, pa dolazi do proboja parametara u efluentu, koji nisu karakteristični za komunalne otpadne vode, čime se menjaju odgovarajući sadržaji i parametri u recipijentu, reci Lepenici (zemnoalkalni metali, sulfati, deterdženti, cink i slično)
3. nedostaje tercijalna obrada otpadnih voda na postrojenju, što se manifestuje enormnim sadržajem amonijaka u efluentu

1.5.5. Eksploatacioni problemi na postrojenju

Tokom eksploatacionog perioda od 1993. godine su uočeni sledeći problemi u radu:

- u slučaju visokih padavina dolazi značajna količina komadnog otpada i drugog nanosa, koji zaglavljaju pumpe i finu rešetku, pa se mora kanalizaciona voda prebacivati na bajpas tok, dok se ulivna građevina i oprema moraju ručno čistiti od nanosa, pri čemu pogon za izvlačenje nanosa iz šahte ulazne građevine, preko kraka sa koturačom, nije odgovarajuće rešenje u odnosu na obim i karakter problema
- najveći problem u radu stvarala je mehanika na postrojenju, posebno ležajevi i redukcija na pužnim pumpama, koja je morala biti zamenjena sličnom opremom, kao i pogonski točkovi na mostovima radijalnih dekantera, odnosno podloga za pogonske točkove mostova, koja je od betonskog maltera i puca, posebno u zimskim uslovima
- tehnička rešenja na peskolovu, sa pokretnim mamut pumpama za usisavanje peska na mostu su lošije rešenje od fiksnih pumpi na krajevima betonskog bazena peskolova
- tehnička rešenja prelivne šahte za plivajuće nečistoće u radijalnim dekanterima nisu odgovarajuće rešenje zbog velike količine plivajućeg otpada u komunalnim vodama grada Kragujevca, pa dolazi do čestog zagušivanja prilikom cevnog transporta plivajućeg otpada iz prelivne šahte "na suvo"

- problem odgušivanja u šikanama za mulj muljnih taložnika, kod ravno sečenih evakuacionih cevovoda, nije odgovarajuće rešenje, pošto se ne može izvršiti odgušivanje bez velikih preobleta i pražnjenja taložnika
- problem u radu kontrolnih uređaja, usled nedostatka odgovarajućih mernih elektroda za O₂ i pH na bioaeracionim bazenima (ulaz-izlaz) i evakuacionom kanalu efluenta

– **Zapažanja na postrojenju**

Na bazi informacija od odgovornih lica na postrojenju, dostupnih analiza regionalnog Zavoda za zaštitu zdravlja u Kragujevcu, kao i prospekcije na terenu, na postojećem postrojenju za prečišćavanje otpadnih voda "Cvetojevac" u Kragujevcu, mogu se postaviti sledeća zapažanja:

1. Postrojenje je postavljeno prema tehnologiji PASAVANT, sa tehnologijom tipa aeracije otpadne vode sa aktivnim muljem, visokog organskog opterećenja
2. Postrojenje po kapacitetu zadovoljava sadašnje potrebe angažovane komunalne kanalizacije u Kragujevcu, mada izabrana tehnologija ne može uspešno garantovati u svakoj mogućoj situaciji potreban izlazni BPK₅ od 20 mg BPK₅/l, posebno kada postrojenje bude kompletno u uslovima optimalnih kapaciteta industrijskih otpadnih voda, usled nedostatka tercijalne obrade, što se može uočiti i po probojima amonijaka u efluentu
3. Eksploataciono hidrauličko opterećenje postrojenja u I fazi iznosi oko 1 500 l/s
4. Postrojenje je nisko opterećeno organskim opterećenjem (oko 100 mgBPK₅/l)
5. Efikasnost izabrane i postavljene tehnologije, od oko 90-95% za uklanjanje organskog opterećenja, uglavnom zadovoljava kvalitete kanizacionih mešanih komunalnih i industrijskih otpadnih voda i efluenta, reke Lepenice
6. Kvalitet aeracije (količina vazduha i tehnika aerisanja) je na zadovoljavajućem nivou, tako da je aerobnost postupka dosta zastupljena u bioaeracionim bazenima, ali nije dovoljno dobro kondicioniranje efluenta po pitanju sadržaja O₂ u efluentu, najverovatnije usled nedostatka tercijalne obrade
7. Izabrana i postavljena tehnologija zadovoljava u najvećem broju parametara kvalitete kanizacionih mešanih komunalnih i industrijskih otpadnih voda i efluenta, reke Lepenice
8. Izabrana i postavljena tehnologija ne zadovoljava u potpunosti kvalitet sadržaja vidljivih primesa, kao i boje u efluentu, a pojedini teški metali povremeno ekscesno probijaju granicu MDK za reku Lepenicu
9. Organizacija rada na postrojenju, kao i odnos prema postrojenju i postupku na postrojenju odgovornih i zaposlenih lica na postrojenju je na veoma visokom nivou
10. Postrojenje poseduje automatski panel za kontrolu procesa, kao i solidno opremljenu pogonsku laboratoriju u okviru postrojenja
11. Kadrovska struktura na postrojenju je dobra, ali bi se kvalitet rada značajno poboljšao određenom kadrovskom transformacijom i proširenjem kako broja, tako i strukture kadra na postrojenju

Opšte zapažanje o postrojenju je pozitivno, kako u delu izabrane i postavljene tehnologije i tehnike, tako i više eksploatacijom i odnosom prema postrojenju u eksploataciji.

Tip postrojenja je optimalno primenljiv za naše uslove za mesta sa opterećenjem kanizacionog sistema do 100 000 ES (2×50 000 ES) kod nas.

Smatramo da postojeći Projekat postrojenja treba dopuniti svim potrebnim tehnološkim i tehničkim ispravkama, na bazi uočenih nedostataka, kako bi mogao poslužiti kao ugledni projekat za postrojenja kapaciteta $n \times 100\ 000$ ES u našoj zemlji. Ovo se posebno odnosi na tercijarnu obradu, koja potpuno nedostaje u postojećem Projektu.

Takođe, novelirano postrojenje, sa ispravljenim nedostacima, moglo bi poslužiti i kao ogledno postrojenje za obuku kadrova, posebno za nova postrojenja, koja će se projektovati u budućnosti.

1.5.7. Predlog mera za poboljšavanje kvaliteta rada na postrojenju

Da bi se kvalitet rada postrojenja doveo na zahtevani nivo sa stanovišta recipijenta potrebno bi bilo modifikovati, bilo doraditi sledeće pozicije:

- 1) Poštovati pravilnik donet na nivou SO Kragujevac o potrebnom kvalitetu otpadnih voda koje se upuštaju u gradsku kanalizaciju za sve industrijske i druge proizvodne objekte u Kragujevcu
- 2) Izraditi analizu ispunjenosti uslova u svim industrijskim i drugim proizvodnim objektima, koji su priključeni svojom kanalizacijom na postrojenje "Cvetojevac"
- 3) Promeniti sporna tehnička rešenja na peskolovu, pre svega poziciju pumpi za izvlačenje peska (fiksne pumpe na kraju bazena, umesto mobilnih pumpi na pokretnom mostu)
- 4) Razmisliti o uvođenju stabilizacionog predbazena za prihvatanje nanosa, postavljenog na dovodnom kolektoru, pre ulazne građevine, za predupređivanje zasipanja i opterećivanja pumpi i fine rešetke u kišnom periodu, ili kod nekontrolisane evakuacije sedimenta iz industrijskih i drugih proizvodnih objekata u kanalizaciju
- 5) Razmisliti o uvođenju postupaka iz tercijalne obrade, nitrifikacije, denitrifikacije, defosforizacije, dezinfekcije, korekcije pH i dezodorizacije efluenta, u vreme izrade dokumentacije za početak II faze na postrojenju

Slika 14 - Detalj sa postrojenja - Blok bioaeracionih bazena, naknadni taložnik, izlivna građevina i deo kanala



Slika 15 - Detalj sa postrojenja - Blok digestori za anaerobni tretman mulja



2. POSTROJENJA ZA PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA U SVETU

2.1. Postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda Korsor u opštini Korsor u Danskoj

Gradska skupština Korsora je 1987. godine odlučila da otpadnu vodu koja je odlazila na četiri postojeća postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda sakupi i odvede na novo postrojenje koje vrši uklanjanje azota i fosfora. Novo postrojenje je pušteno u pogon 1995. godine. Kapacitet postrojenja je 40 000 E.S. a na postrojenju je primenjen proces BioDenipho® koji biološki uklanja fosfor i azot. Kontrola i upravljanje postrojenjem se vrši uz pomoć sistema SCADA. Na slici 16. je prikazno postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda Korsor.

Slika 16 - Postrojenje Korsor



Projektni kriterijum, kategorija hidruličkog opterećenja - protoka vode:

Po suvom vremenu 7 500 m³/dan

Po kišnom vremenu 650 m³/h

Maksimalni dotok otpadne vode 1 000 m³/h

Projektni kriterijum, standard za efluent:

BPK₅ 15 mg/l

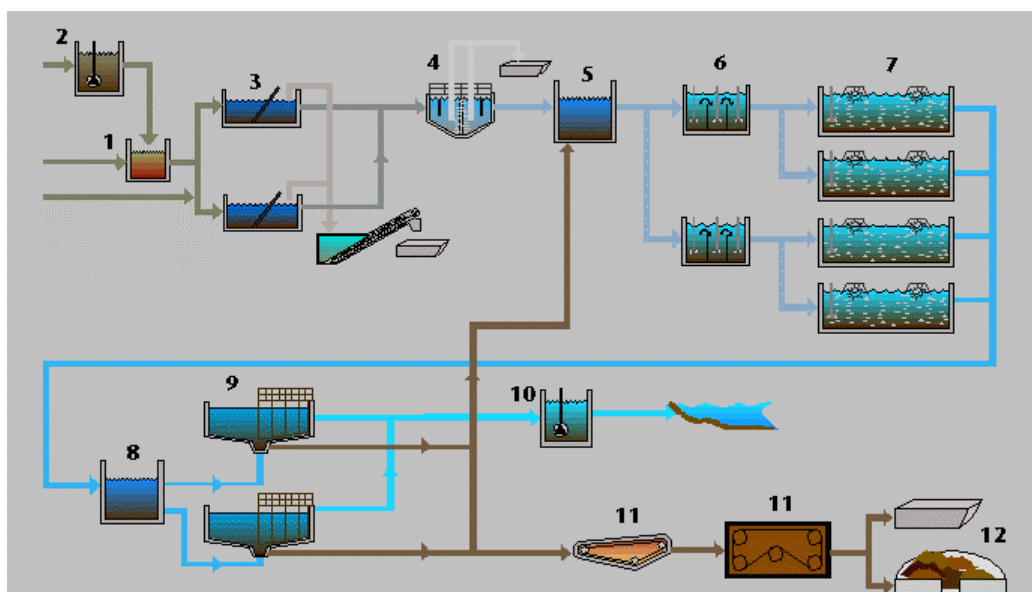
Ukupan azot 8 mg/l

Ukupan fosfor 1.5 mg/l

Imajući na umu "zeleni" profil i opredeljenje opštine, gradsko veće je odabralo proces prečišćavanja koji se zasniva na prirodnim biološkim procesima. Opredeljenje za "zeleni" pristup znači da razgradnje materija i produkti koji nastaju predstavljaju rezultat biološkog uklanjanja azota i fosfora, a proces prečišćavanja definisan na ovaj način omogućuje smanjenje utroška hemikalija. Ovakav proces smanjuje ukupne operativne troškove rada postrojenja. Ipak, određeni hemijski tretman je idalje potreban kako bi se fosfor u potpunosti uklonio.

U nastavku na slici 17. je prikazana tehnološka šema procesa prečišćavanja na ovom postrojenju

Slika 17 - Tehnološka šema procesa prečišćavanja na postrojenju Korsor



- | | |
|---------------------------|-----------------------------------|
| 1. Ulaz sirove vode | 7. Aeracioni bazen |
| 2. Komora za prijem mulja | 8. Razdelna građevina |
| 3. Rešetka | 9. Naknadni taložnik |
| 4. Peskolov | 10. Crpna stanica prečišćene vode |
| 5. Razdelna građevina | 11. Dehidratacija mulja |
| 6. Anaerobni bazen | 12. Skladištenje mulja |

2.2. Postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda Nastved u opštini Nastved u Danskoj

Postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda Nastved u Danskoj je izgrađeno u periodu od 1987. godine do 1988. godine. Na postrojenju je primenjena tehnologija aktivnog mulja sa produženom aeracijom i sa biološkim uklanjanjem organskih materija, azotom i fosforom. Kapacitet postrojenja je 130 000 E.S. a na postrojenju je primenjen proces BioDenipho® koji biološki uklanja fosfor i azot. Kontrola i upravljanje postrojenjem se vrši uz pomoć sistema SCADA. Na slici 18. je prikazno postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda Nastved.

Slika 18 - Postrojenje Nastved



Projektni kriterijum, kategorija hidruličkog opterećenja - protoka vode:

Po suvom vremenu 29 500 m³/dan

Max. po suvom vremenu 2 110 m³/h

Max. po kišnom vremenu 9 000 m³/h

Max. se tretira po kišnom vremenu 3 000 m³/h

Projektni kriterijum za biološko i hemijsko opterećenje postrojenja

BPK₅ srednje 89 000 E.S.

BPK₅ max. 107 000 E.S.

HPK srednje 103 000 E.S.

HPK smax. 131 000 E.S.

Projektni kriterijum, standard za efluent:

BPK₅ 15 mg/l

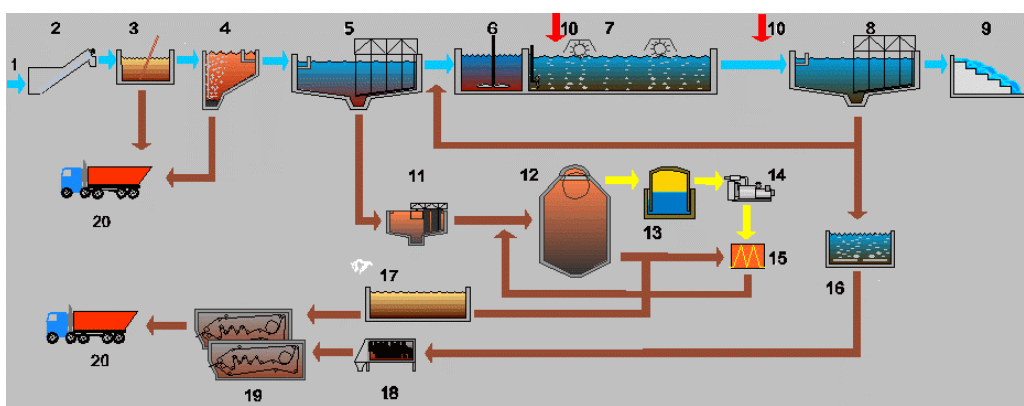
Ukupan azot 8 mg/l

Ukupan fosfor 1.5 mg/l

Kontrola, regulacija i nadzor nad operacijama i procesima na postrojenju za prečišćavanje otpadnih voda vrši se automatski uz pomoć kompjuterskog sistema. Kompjuterski sistem vrši prikupljanje mernih podataka donosi odluke i upravlja radom svih procesa na postrojenju. Meranja ulaznog kvaliteta, izlaznog kvaliteta kao i meranje kvaliteta otpadne vode u svim procesima se vrši kontinualno. Vršiti se merenje na svim mehaničkim uređajima koji učestvuju u procesu prečišćavanja (napon struje, jačina struje, zagrevanje vitalnih delova, pritisci ulja za podmazivanje, i.t.d.). Merene veličine se sakupljaju i koriste delom za kontrolu procesa a delom za automatsko ili ručno upravljanje procesom prečišćavanja.

U nastavku na slici 19. je prikazana tehnološka šema procesa prečišćavanja na ovom postrojenju

Slika 19. Tehnološka šema procesa prečišćavanja na postrojenju Nastved



- | | |
|---------------------------------|---|
| 1. Ulaz sirove vode | 2. Crpna stanica na ulazu |
| 3. Rešetka | 4. Peskolov i mastolov |
| 5. Primarni taložnik | 6. Komora za predtretman |
| 7. Bazeni za aeraciju | 8. Sekundarni taložnik |
| 9. Kaskadna aeracija na izlazu | 10. Doziranje soli gvožđa |
| 11. Primarni ugušćivač | 12. Digestor |
| 13. Rezervoar gasa | 14. Gasni generator |
| 15. Kotlarnica | 16. Bazeni za homogenizaciju |
| 17. Bazeni za sakupljanje mulja | 18. Jedinica za predhodno izdvajanje vode |
| 19. Trakasta filter presa | 20. Odvoženje na deponiju |

2.3. Postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda Stavsholt u opštini Farum u Danskoj

Postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda Stavsholt je konstruisano 1963. godine a proširenje postrojenja je pušteno u pogon 1993. godine. Biološki tretman na postojećem postrojenju je unapređen u smislu uvođenje procesa razgradnje azota. Kapacitet postrojenja je 30 000 E.S. a na postrojenju je primenjen proces fizičko / hemijsko / biološki koji uklanja fosfor i azot. Kontrola i upravljanje postrojenjem se vrši uz pomoć sistema SCADA.

Na slici 20. je prikazno postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda Stavsholt

Slika 20 - Postrojenje Stavsholt



Projektni kriteijum, kategorija hidruličkog opterećenja - protoka vode:

Po suvom vremenu 6 000 m³/dan

Po kišnom vremenu 650 m³/h

Max. po kišnom vremenu 9 000 m³/h

Max. se tretira po kišnom vremenu 3 000 m³/h

Projektni kriterijum, standard za efluent:

BPK₅ 15 mg/l

Ukupan azot 8 mg/l

Ukupan fosfor 0.5 mg/l

Rekonstruisano postrojenje za prečišćavanje otpadne vode Stavsholt je 1993. godine svečano otvoreno. Kompanija Hoffman/Kruger-Farum A/S je pružila kontrolu i upravljanje radom postrojenja i garantuje da će kvalitet efluenta nakon prečišćavanja zadovoljiti zahtevane standarde za očuvanje životne sredine.

2.4. Postrojenje za prečiščavanje odpadnih voda Fredrikshavn u Danskoj

Postrojenje za prečiščavanje odpadnih voda Fridrishavn ima kapacitet za 30 000 E.S. a na postrojenju je primenjen proces Biostyr® (biološki proces prečiščavanja baziran na tehnologiji "fixd - film") i tehnologija sa aktivnim muljem.

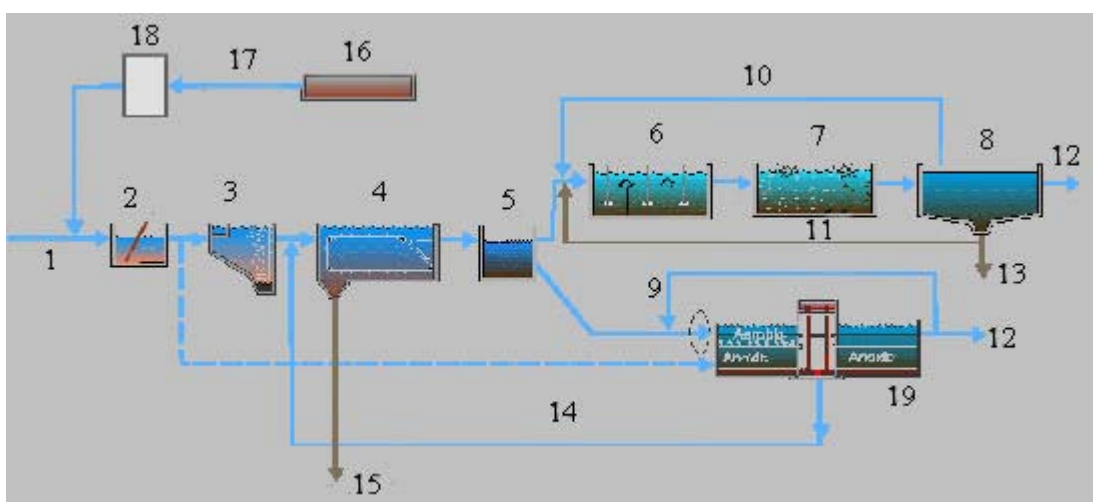
Na slici 21. je prikazno postrojenje za prečiščavanje odpadnih voda Fridrikshaven

Slika 21. Postrojenje Fridrikshavn



Na slici 22. je prikazana tehnološka šema postrojenja.

Slika 22. Tehnološka šema postrojenja



- | | |
|------------------------|---|
| 1. Ulaz sirove vode | 2. Rešetka na ulazu |
| 3. Peskolov i mastolov | 4. Primarni taložnik |
| 5. Razdelna građevina | 6. Anaerobni bazen |
| 7. Bazen za aeraciju | 8. Naknadni taložnik |
| 9. Recirkulacija | 10. Recirkulacija |
| 11. Povratni mulj | 12. Izlazni efluent |
| 13. Na tretman mulja | 14. Povratna voda od pranja |
| 15. Na tretman mulja | 16. Tretman mulja |
| 17. Procedna voda | 18. Sakupljanje i odvođenje procedne vode |
| 19. Biostyr® uređaj | |

2.5. Postrojenje za prečišćavanje vode Limasol na Kipru

U maju 1992 godine upravni odbor kanalizacije Limasol - Amatus je potpisao ugovor "ključ u ruke" sa kompanijama Kruger-Zahariades za izgradnju novog centralnog postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda. Novo postrojenje ima tehnologiju punog biološkog tretmana i uklanjanja azota. Kapacitet postrojenja je 70 000 E.S. a na postrojenju je primenjen proces BioDenitro® koji biološki uklanja azot. Kontrola i upravljanje postrojenjem se vrši uz pomoću sistema SCADA.

Na slici 23. je prikazno postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda Limasol.
Slika 23. Postrojenje Limasol



Projektni kriterijum, ulazno opterećenje na postrojenje:

BPK₅ 4 567 kg/dan

Suspendovane materije 5 972 kg/dan

Ukupan azot 843 kg/dan

Dnevni dotok 21 990 m³/dan

Srednji dotok 916 m³/dan

Maksimalni dotok 2 016 m³/dan

Projektni kriterijum, standard za efluent:

BPK₅ 10 mg/l

Suspendovane materije 10 mg/l

Amonijak - Azot 2 mg/l

Ukupan azot 10 mg/l

Kontrola, upravljanje i nadzor na svim tehnološkim operacijama u procesu prečišćavanja otpadnih voda na ovom postrojenju je automatizovano i vrši se pomoću kompjuterskog sistema SCADA. Funkcije postrojenja su automatizovane i kontrolisane na bazi merenih vrednosti u procesu prečišćavanja. Sistem SCADA vrši i sakupljanje i beleženje podataka iz procesa tokom vremena. Podaci mogu služiti za analizu rada postrojenja u cilju poboljšanja rezultata prečišćavanja.

2.6. Postrojenje za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda naselja Hobart na Tasmaniji

Postrojenje za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda naselja Hobart je hibridno postrojenje nastalo od postojećih filtera prokapsnika čiji je učinak poboljšan sistemom BioDenipho® za biološko uklanjanje azota i fosfora. Postrojenje čini i sistem za pre-fermentaciju, digestiju mulja, ceđenje mulja i sistem SCADA za kontrolu rada celokupnog sistema. Kapacitet starog postrojenja je iznosio 20 000 E.S. a novo rekonstruisano postrojenje ima kapacitet od 45 000 E.S.

Na slici 24. je prikazno postrojenje Hobart na Tasmaniji.

Slika 24. Postrojenje Hobart



U nastavku su prikazane karakteristike otpadne vode na ulazu i izalu postrojenja

Parametar	Influent	Efluent
BPK ₅	265 mg/l	15 mg/l
Suspendovane materije	200 mg/l	20 mg/l
Ukupan azot	36 mg/l	10 mg/l
Ukupan fosfor	8.5 mg/l	2 mg/l

3. NOVE TEHNOLOGIJE U PREČIŠĆAVANJU OTPADNIH VODA

Nove tehnologije i novi trendovi rešavanja problema zagađenja otpadnih voda obezbeđuju široku lepezu rešenja za otpadne vode od sanacije i rekonstrukcije postojećih postrojenja do izgradnje potpuno novih postrojenja. Osnovni akcenat je dat u kompjuterskom praćenju i upravljanju radom sistema. Nove tehnologije predstavljaju suptilne procese čija uspešnost i svrsishodnost zavisi od potpune informisanosti o stanjima procesa u svakom trenutku. Rad sistema se stalno prilagođava realnim uslovima kvaliteta na svim segmentima tehnološkog procesa, vrši se korigovanje rada u cilju optimizacije procesa prečišćavanja. Jeda od svetski poznatih sistema kompjuterskog upravljanja je i sistem SCADA, bez čije pomoći nove tehnologije nisu primenljive.

Danas u svetu postoje specijalizovane firme koje se bave problemima prečišćavanja otpadnih voda i to od inicijalnih istraživanja, projektovanja, procene uticaja na životnu sredinu, kontrole zagađenja, projektovanja i kontrole kanalizacije, pa sve do izvođenja radova na izgradnji postrojenja, projektovanja i ugradnje opreme, projektovanja kompjuterskog upravljanja uz pomoć SCADA sistema, tretmana mulja i otklanjanja neprijatnih mirisa. Svetski trend je da vođenje postrojenja i kontrolu procesa na postrojenjima za prečišćavanje vrše specijalizovane firme koje su projektanti i isporučioци tehnologije. Za kvalitet prečišćene vode odgovorne su gradskim većima u naseljima na čijoj teritoriji se nalazi postrojenje.

3.1. ACTIFLO proces

ACTIFLO je proces izuzetno visokog stepena prečišćavanja koji kombinuje intenzivnu flokulaciju mikropeska i lamelarno taloženje.

Primena ovih procesa je kako kod otpadne vode tako i kod vode za piće. Kod pripreme i prečišćavanja vode za piće mutnoća prečišćene vode je redukovana do 0.5 NTU ili čak manje pri opterećenju od 50-75 m³/m²/h (m/h). Kod otpadne vode redukcija iznosi od 85-95% ukupnih suspendovanih materija, 60-80 ukupnog kiseonika i 85-95% ukupnog fosfora pri opterećenju od 100-150 m³/m²/h (m/h). Na slici 25. prikazana je šema rada Actiflo procesa.

3.1.1. Mogućnost primene Actiflo procesa za pijaću vodu

Actiflo proces efektivno uklanja suspendovane čvrste materije prisutne u površinskim vodama putem koagulacije/flokulacije i lamelnog taloženja. Sistem za filtraciju koji se nalazi iza, može se koristiti za kompletnu eliminaciju preostalih suspendovanih čvrstih čestica.

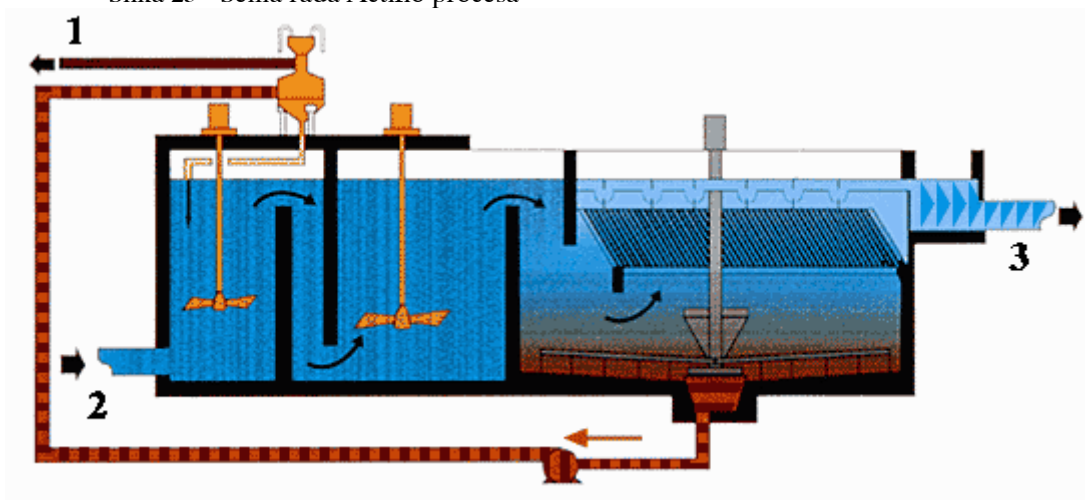
Actiflo proces je veoma kompaktne veličine i pogodan je i za mala i velika postrojenja (od 100 do 10 000 m³/h).

Sirove vode sukcesivno protiču kroz:

- Bazeni za brzo mešanje gde se polielektroliti i pesak uvode u vodu.
- Bazeni za flokulaciju gde se u bazenu za mešanje flokule generišu rastu i sazrevaju
- Lamelarni taložnik gde se flokule težine mikropeska i balast mikropeska separišu od tretirane vode.

Mulj koji se izdvaja iz taložnika se pumpa kroz grupu hidrociklona gde se odvaja mikropesak od mulja. Prečišćeni mikropesak se recirkuliše do bazena za brzo mešanje a mulj se transportuje do odgovarajućih postrojenja u okviru procesa.

Slika 25 - Šema rada Actiflo procesa



1. Uklanjanje mulja , 2. Influent - otpadna voda, 3. Efluent - prečišćena voda
Na slici 2. je prikazan Hidrociklon koji se koristi u Actiflo procesu
Slika 26 - Hidrociklon koji se koristi u Actiflo procesu

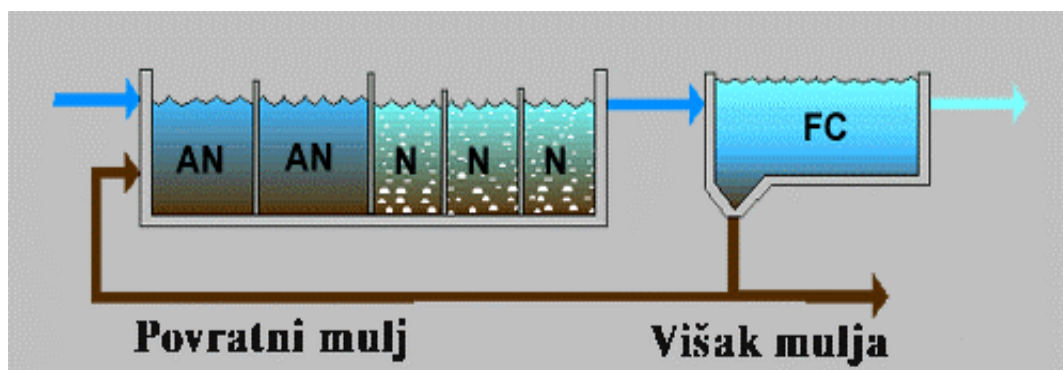


3.2. A/O - Biološki selektor za sistem aktivnog mulja

A/O Proces se unapređuje pod okriljem procesa aktivnog mulja korišćenjem anaerobnog selektora za razvijanje selektivne biomase koja se prirodno obnavlja u skoro svim postrojenjima za prečišćavanje. Proces pospešuje uklanjanje fosfora dok redukuje organizme za prinos mase mulja.

A/O proces je primenjen u bazenu za oksidaciju. A/O proces je u punoj primeni od 1979. godine, i sastoji se iz stacioniranog anaerobnog separatora (taložnika) koji prate višestruki oksidacioni reaktori koji rade u serijama. Na slici 27. je prikazan A/O tehnološki proces.

Slika 27 - A/O tehnološki proces



Anaerobni separator (taložnik) je inicijalno razvijen da bi se poboljšale karakteristike taloženja aktivnog mulja, inhibiranjem rasta filamentoznih bakterija koje izazivaju bujanje mulja. Filamentozne bakterije su aerobni organizmi koji prevode povratni aktivni mulj (POM) kroz anaerobni separator (taložnik), u kome nema slobodnog kiseonika odnosno kombinovanih formi kiseonikovih jedinjenja. Filamentozne bakterije nisu sposobne da se razmnožavaju.

Anaerobni separator (taložnik) vrši biološko uklanjanje fosfora iz otpadnih voda, što je detaljno prikazano u opisu BioDenipho procesa. Kombinacija minimalne populacije filamentoznih bakterija i povećanja koncentracije fosfora u čvrstoj biomasi, stvara guste taložne flokule. Kao rezultat toga, koncentracija čvrste faza efluenta opada dok se koncentracija PAM-a (povratni aktivni mulj) povećava. Povećanje koncentracije PAM-a omogućava da se redukuje njegovo prepumpavanje. U A/O procesu u bazenu, anaerobi separator (taložnik) prati oksidacioni jarak.

Operativna strategija A/O procesa u bazenu, je kontrola nivoa rastvorenog kiseinika (D.O. - dissolved oxygen) što dovodi do maksimuma simultanu denitrifikaciju a minimizira utrošak energije. Biološko uklanjanje fosfora eliminiše troškove i povećanje mulja generisanog u procesu hemijske precipitacije. Pored toga, inhibirani rast filamentoznih bakterija obezbeđuje konsistentan proces rada tokom otežanih uslova tretmana, koji podrazumevaju nizak odnos bakterija i hrane (F/M Food to Micro-organism) i nisku koncentraciju rastvorenog kiseonika.

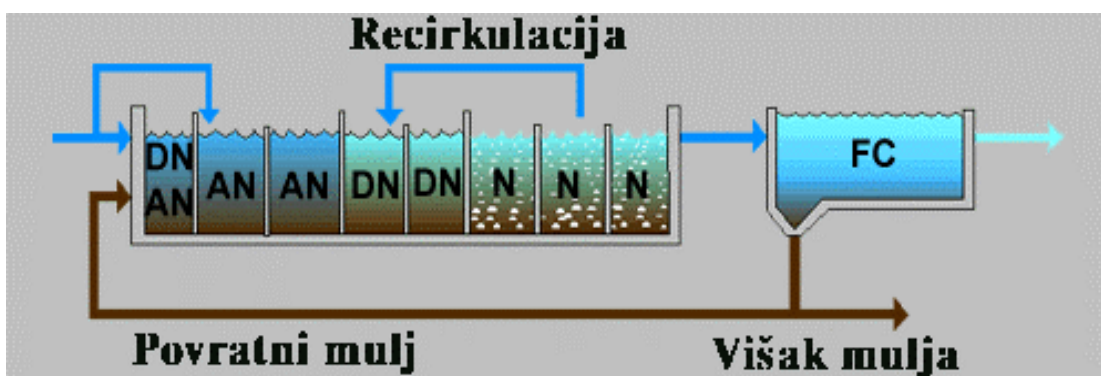
Druga atraktivna osobina A/O procesa u bazenu se odnosi na mogućnost nadgradnje i proširenja procesa, sa aspekta uklanjanja azota koje može biti uključeno u šemu tretmana dodavanjem anoksičnih rezervoara za A2/O proces u bazenu, ili dodavanjem drugog bazena i kontrolom operacije BioDenipho procesa.

Bez obzira na to da li postrojenje za prečišćavanje uključuje i uklanjanje fosfora, prednosti koje nudi A/O proces u bazenu su zagarnovane.

3.3. Anaerobno / anoksični / oksidacioni (A2/O) proces u jarku

A2/O proces ubazenu je primena A/O procesa u oksidacionom bazenu. A2/O proces je sličan procesu A/O, ali su i anoksični rezervoari inkorporirani u šemu tretmana. Anoksični rezervoari su locirani posle anaerobnog separatora (taložnika) a ispred oksidacionog reaktora kako je prikazano na slici 28. Nitrati se iz oksidacionih reaktora vraćaju u anoksični rezervoar, prepumpavanjem kroz unutrašnju liniju za recirkulaciju.

Slika 28 - A2/O tehnološki proces



Slika 4.

U A2/O procesu u bazenu se primenjuje pumpa radi internog prepumpavanja kod recirkulacije. Pumpa je opremljena sa radnim kolom promenljivog broja obrtaja koji omogućava fleksibilnost potrebnu kod kapaciteta pumpanja.

A2/O proces u bazenu se može primenjivati u jednostrukom ili dvostrukom bazenu. Projekat postrojenja 4.0 MGD Titusville u Floridi W.W.T.P. je sličan šemi datoj na slici 4., ali takođe uključuje drugi anoksični rezervoar u šemu tretmana da bi se postigao niz 5-5-3-1 (BPK₅ - C susp.-Uk. N - Uk. P) ograničenja efluenta.

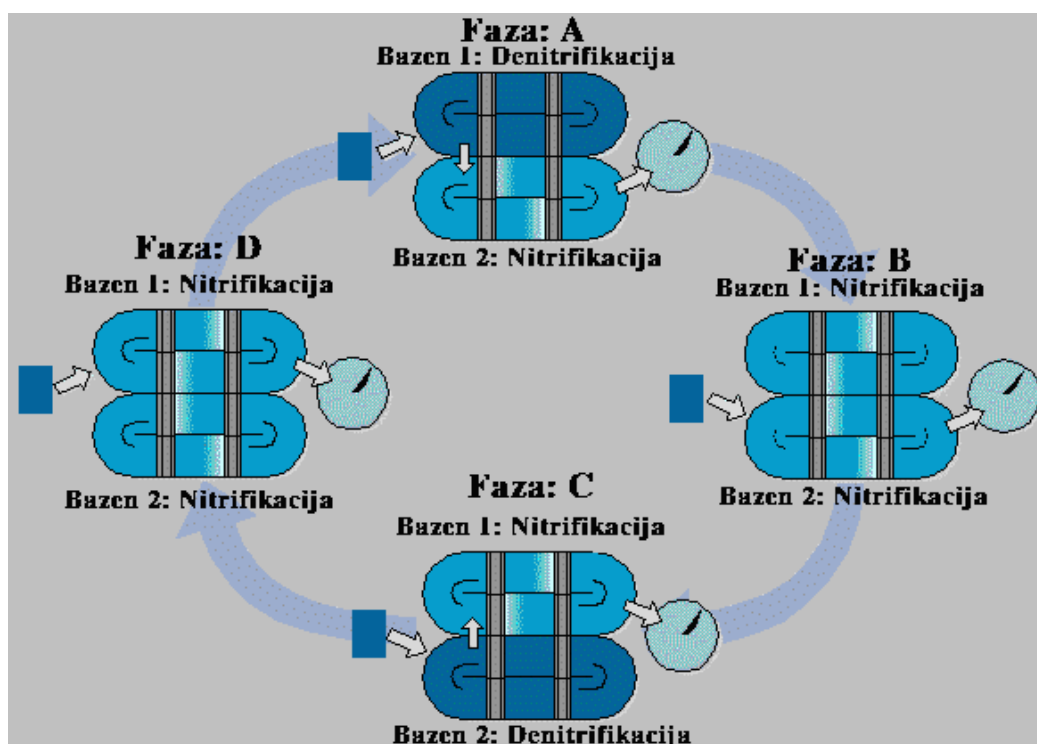
Kombinacijom visoko efikasnog A2/O procesa u bazenu, sa "funkcijom prirode" iz oksidacionog rezervoara, dobija se A2/O proces u bazenu kao kompaktno postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda koje je jednostavno za rukovanje a konstantno proizvodi efluent visokog kvaliteta.

3.4. BIODENIPHO proces

BioDenipho proces obezbeđuje smanjenje sadržaja ukupnog azota i fosfora u otpadnoj vodi na minimum pored visoke redukcije organskih materija (BPK), amonijaka i suspendovanih čvrstih čestica. Ovaj metod takođe eliminiše neprijatne mirise pošto se mulj stabilizuje u toku procesa. Na slici 29. je prikazan proces BioDenipho.

Sistem bazena za oksidaciju se sastoji od anaerobnog rezervoara postavljenog ispred dva međusobno povezana biološka rezervoara jednakih zapremina i finalnog taložnog rezervoara. Biološki rezervoari rade u promenljivom modu i opremljeni su aeratorima, ulaznim distributerima (razdelnik ili račva) i izlaznim komorama (difuzorima).

Slika 29 - Prikaz proces BioDenipho



Slika 5.

– Opis procesa

BioDenipho proces osigurava najbolju moguću kontrolu biološkog tretmana obezbeđujući optimalne životne uslove mikroorganizmima u otpadnoj vodi.

Metod se najbolje može ilustrovati praćenjem uklanjanja fosfora u jednom od bioloških rezervoara, tokom čitavog ciklusa od faze A do D. Naravno, progresija faza se optimizuje za svako konkretno postrojenje tokom njegovog rada na osnovu standarda efluenta i kompozicije (sastava) sirove otpadne vode.

Uzvodno od bioloških rezervoara, mikro organizmi koji akumuliraju fosfor se propagiraju u separate anaerobne rezervoare da bi biološko uklanjanje fosfora bilo efektivnije u finalnim fazama.

Faze A, B, C i D zajedno čine celokupan operacioni centar. Važno je napomenuti da postoje višestruki krugovi u čitavom hidrauličkom vremenu zadržavanja, obično 4-6, tako da se koristi efekat rastvaranja.

Faza A:

Kroz ulazni distributor se otpadna voda iz anaerobnog rezervoara odvodi do rezervoara II gde se kontinualno meša bez ikakvog transfera kiseonika (anoksični uslovi). U ovakvim uslovima, mikroorganizmi u aktivnom mulju su primorani da koriste nitrata stvorene u prethodnim fazama kao izvor kisonika. Mikroorganizmi degradiraju organsku materiju i gasni azot se oslobađa u atmosferu (denitrifikacija). Kada sirova otpadna voda uđe u rezervoar, odgovarajuća zapremina vode i aktivnog mulja napušta rezervoar II i otiče u rezervoar I. U rezervoaru I se uvodi kiseonik (aerobni uslovi) što dovodi do biološke degradacije organske materije i konverzije amonijuma iz otpadne vode u nitrata (nitrifikacija). U ovoj i narednoj fazi, tretirana otpadna voda i aktivni mulj otiču iz rezervoara I do završnog taložnog rezervoara.

Faza B:

Otpadna voda se dovodi do rezervoara II u koji se dovodi kiseonik (aerobni uslovi): kiseonik se takođe dovodi i do rezervoara I u ovoj fazi. Tačna dužina trajanja ove faze se određuje potrebnim vremenom da nitrifikujuće bakterije minimiziraju koncentraciju amonijuma u rezervoaru I, to jest treba da se pojavi višak kiseonika po čitavom rezervoaru.

Faze C i D:

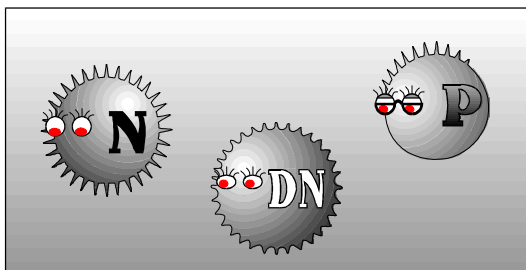
Ove faze odgovaraju fazama A i B, osim činjenice da su dotok otpadne vode, oticaj i uslovi procesa u rezervoarima zamenili mesta. Kada se D faza završi, operacioni krug ponovo počinje sa fazom A.

Prednosti ovog procesu se ogledaju u tome što je kvalitet efluenta iz BioDenitro sistema (oksidacionog bazena) jedan od najboljih koji se danas mogu postići. Za komunalne otpadne vode bez tercijarne filtracije i hemijske precipitacije može se postići sledeći kvalitet:

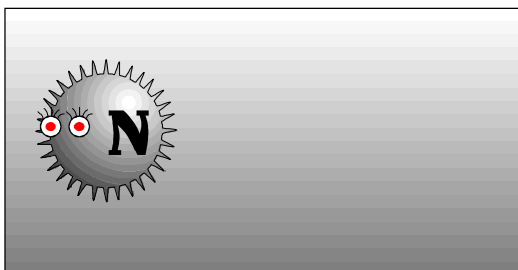
Organske materije:	5-10 mg/l
Suspendovane čvrste materije:	10-15 mg/l
Amonijum:	0.5-2 mg/l
Ukupni azot:	5-8 mg/l
Ukupni fosfor:	1-3 mg/l

– **Detaljan opis postupka**

Slika 29



Slika 30

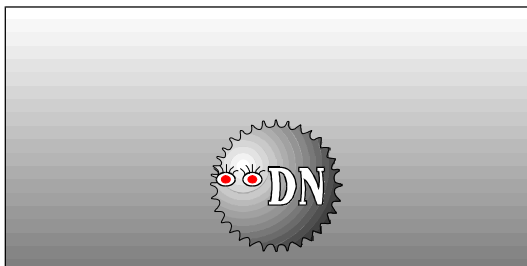


Svi napredni biološki tretmani otpadnih voda se odigravaju pomoću različitih kultura bakterija koje se sreću svuda u prirodi, i kao takve su sasvim bezopasne. Krugerovi biološki procesi stvaraju najbolje moguće životne uslove za posebne vrste prirodnih bakterija koje se koriste za uklanjanje azota i fosfora iz otpadnih voda.

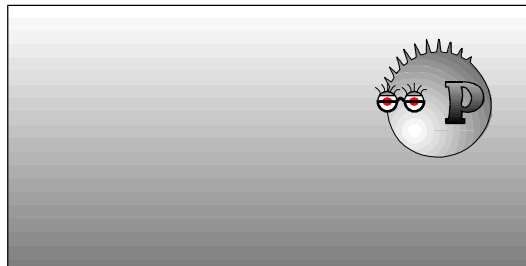
Postoje tri vrste bakterija koje se koriste u Krugerovim BIO-DENIPHO procesima (slika 29).

Oznakom "N" je označena takozvana bakterija za nitrifikaciju (slika 30). Njen zadatak je da sadržaj amonijaka u sirovim otpadnim vodama prevede u nitrate, a ovaj proces se naziva nitrifikacija. Ova bakterija "radi" samo kada u otpadnoj vodi ima dovoljno kiseonika, odnosno opstaje u takozvanim "aerobnim uslovima".

Slika 31



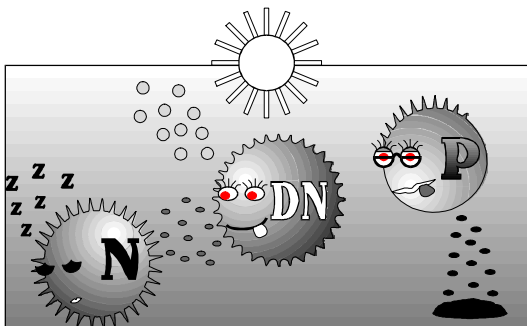
Slika 32



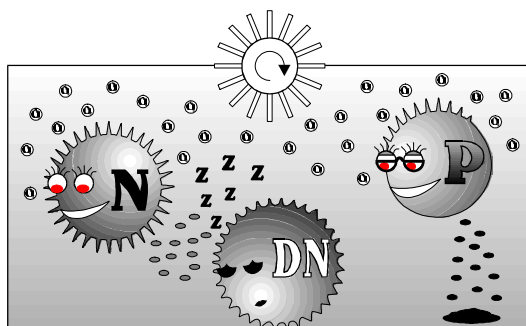
Oznakom "DN" se označavaju bakterije za denitrifikaciju (slika 31). Njihov zadatak je sakupljanje organskih materija a kao hranu odnosno izvor energije koriste nitrata koje stvaraju "N" bakterije. Ovo rezultira stvaranjem gasnog azota, koji inače čini 78 % atmosfere i potpuno je bezopasan. Za razliku od "N" bakterija koje "rade" samo kada u otpadnoj vodi ima dovoljno kiseonika, "DN" bakterije "rade" samo u sredini bez prisustva slobodnog kiseonika - što se naziva "anaerobnim uslovima".

Oznakom "P" se označavaju bakterije koje apsorbuju fosfor koji se nalazi u otpadnim vodama (slika 32). Ove bakterije ne obitavaju u aeracionim bazenima i običnim postrojenjima za prečišćavanje otpadnih voda. Iz tog razloga je kompanija Kruger projektovala bazen samo za boravak i rad ove vrste bakterija. Mada je ova vrsta bakterija osetljiva, ona opstaje i u aerobnim i u anaerobnim uslovima, tojest i u prisustvu i bez prisustva kiseonika u otpadnim vodama. Iz tog razloga otpadne vode prvo dolaze u bazen sa ovom vrstom bakterija, a zatim i u bazene sa drugim kulturama bakterija.

Slika 33



Slika 34



U slučaju kada se "N", "DN" i "P" bakterije nađu u istom aeracionom bazenu, "N" i "DN" ne mogu da rade u istim uslovima. Dok "N" bakterije zahtevaju kiseonik, on u isto vreme sputava "DN" bakterije, tako da one miruju dok traje aeracija. Na "P" bakterije ne utiče prisustvo kiseonika. One stabilno rade, apsorbuju fosfor i pretvaraju ga u talog. "N" bakterije pretvaraju amonijak u nitrata koje koriste "DN" bakterije kada se aktiviraju.

Kada "N" bakterije transformišu skoro čitav amonijum iz otpadne vode, aeratori se isključuju i prestaje dovod kiseonika (slika 33). To znači da "N" bakterije takođe prestaju sa radom. Otpadna voda se ponovo uliva u bazen i "DN" bakterije počinju da uzimaju organsku materiju. "DN" bakterije koriste kiseonik iz nitrata kao gorivo i oslobađaju gasni azot i vodu. "P" bakterije i dalje apsorbuju fosfor i pretvaraju ga u talog. Kao rezultat dovodenja "sveže" otpadne vode u bazen, ponovo se povećava koncentracija amonijuma, i u jednom trenutku "DN" i "N" bakterije ponovo moraju da zamene mesta (slika 34). Aeratori se uključuju radi snabdevanja "N" bakterija kiseonikom, i tako dve vrste bakterija rade naizmenično.

Principi poboljšanog biološkog tretmana nisu komplikovani. Balans i redosled događaja, međutim, zahteva perfektnu kontrolu i razumevanje. Zato su sve funkcije postrojenja za preradu otpadnih voda povezane u sistem za automatsku kompjutersku kontrolu i prikupljanje podataka, što omogućava centralizovanu kontrolu. Ovakvi sistemi su takođe jedna od specijalnosti kompanije Kruger.

3.5. BIOSTYR proces

Biostyr je proces biološkog tretmana baziran na tehnologiji biofiltra (fiksno biološkog filma). Kulture bakterija koje degradiraju zagađenje u otpadnoj vodi su vezane za granularni nosač polistiren. Postrojenja su projektovana kao uzvodni filtri sa anoksičnom zonom pri dnu i aerobnom zonom pri vrhu. Otpadna voda se recirkuliše preko filtara. Posebne karakteristike ove metode su:

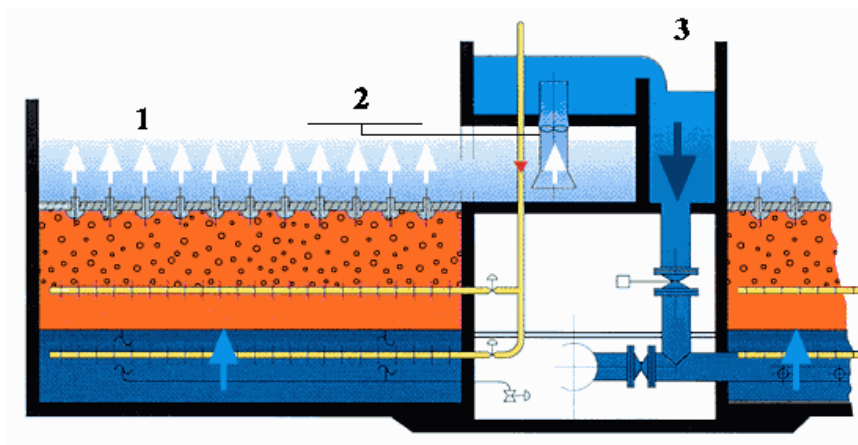
Tri procesa se odvijaju u jednom rezervoaru pa tako nema taložnog rezervoara:

- Visoka efikasnost tretmana
- Kompaktna jedinica zauzima mali prostor
- Može se izgraditi u postojećim postrojenjima
- Mala zavisnost od temperature
- Nema neprijatnih mirisa • pošto se u površinsku vodu ubacuje kiseonik

Ove prednosti čine BIOSTYR jedinicu konkurentnom i kod malih postrojenja. BIOSTYR proces je patentiran od strane OTV, Kruger kompanije. Na slici 35. i 36. je prikazan proces Biostyr.

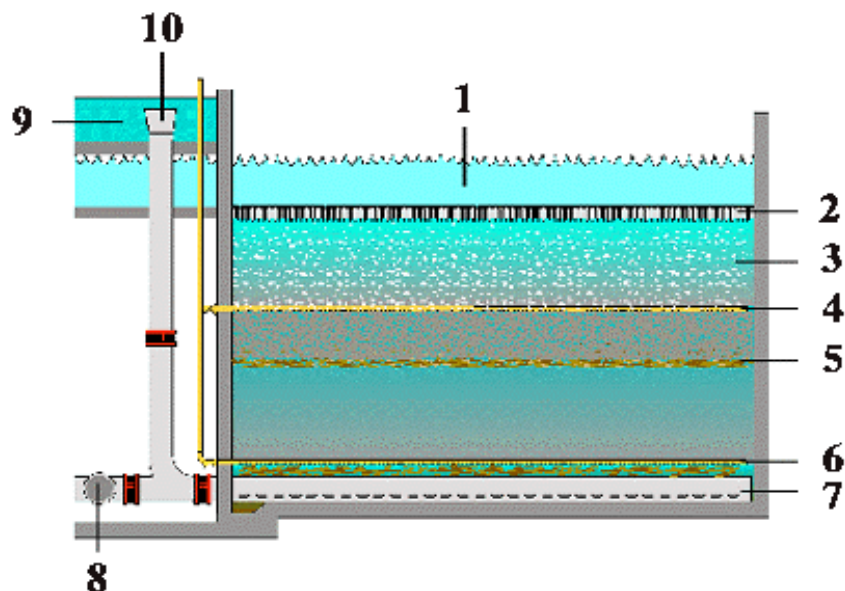
Na slici 7. su prikazane osnovni elemnti procesa.

Slika 35 - Osnovni elementi Biostyr procesa



Legenda: 1. Prečišćena voda, 2. Recirkulacija za totalno uklanjanje azota, 3. Ulaz sirove vode

Slika 36 - Prika z preseca Biostyr



Legenda: 1. Izlaz i voda za pranje (rezervoar prečišćene vode), 2. Zid ćelije, 3. Aerobna zona, 4. Procesani vazduh, 5. Anaerobna zona, 6. Unos vazduha, 7. Distribicioni kanal, 8. Dovod vode za pranje, 9. Distribicioni kanal, 10. Ulaz

U BIOSTYR jedinici količina organskog zagađenja i nutrijenata, na primer azota, je redukovana, dok mulj i sitne čestice iz otpadne vode ostaju na filteru. Svi ovi procesi se odigravaju u kompaktnom rezervoaru, poznatom i kao "ćelija". To praktično znači da BIOSTYR jedinica zahteva veoma malo prostora u poređenju sa konvencionalnim jedinicama.

— Opis procesa

Princip rada sistema je sledeći: otpadna voda se pumpa kroz distribicioni kanal odakle se voda odvodi na dno ćelije. Voda zatim teče naviše kroz filter. Prvo kroz anoksičnu zonu gde se odigrava denitrifikacija i filtracija, odnosno zadržavanje (retenzija) suspendovanih čvrstih materija na filteru. Kada otpadna voda prođe kroz aerobnu, aerisanu zonu, amonijum prelazi u nitrite i eventualno nitrate u procesu nitrifikacije. Otpadna voda koja sadrži nitrate se recirkuliše i meša sa sirovom otpadnom vodom. Ovako pomešana otpadna voda koja sadrži nitrate se vraća na dno filterarskih ćelija. Radi konverzije nitrata neophodno je prisustvo ugljenika u anoksičnoj zoni. Veliki deo prirodnog sadržaja ugljenika u otpadnoj vodi se uklanja zajedno sa muljem prilikom fizičkog tretmana. Kao posledica može da se javi potreba za dodavanjem izvora ugljenika, kao što su etanol i metanol. U isto vreme dok se nitrifikacija odigrava u aerobnoj zoni, denitrifikacija se odigrava u anoksičnoj zoni. Prilikom recirkulacije otpadne vode, nitrati iz aerobne zone se konvertuju u slobodni azot u anoksičnoj zoni. Kada otpadna voda protiče kroz filter, zadržavaju se suspendovane čvrste materije što izaziva postepenu kolmataciju (zapušavanje) filtra. U cilju uklanjanja deponovanog mulja, filter se ispira pomoću tretirane vode i vazduha. Mulj se može vratiti u postrojenje za fizičko-hemijski tretman gde se odvaja od primarnog mulja.

3.6. OASES - sistem za aktivaciju mulja sa čistim kiseonikom

Ovo je proces aktiviranja mulja kiseonikom za sekundarni i dodatni tretman komunalnih i industrijskih otpadnih voda.

Sistem za razlaganje uključuje pokriveni višespratni (višekomorni) reaktor gde se dovodi kiseonik visoke čistoće radi stvaranja osnove sistema sa veoma kratkim vremenom zadržavanja sa izuzetnim taloženjem mulja. Ovaj sistem se primenjuje:

- Za komunalne i industrijske influente,
- Za nove i naknadne projekte,
- Kada je cena energenata visoka,
- Kada je prostor ograničen,
- Kada je potrebna kontrola emisije isparljivih organskih jedinjenja u vazduh,
- Kada je bitan estetski izgled,
- Kada je pravljenje kiseonika na licu mesta već razmatrano za potrebe industrijskih procesa.

Za primenu sekundarnog i naknadnog tretmana kada projektom predviđeno organsko opterećenje prelazi 27 000 kg/dan potrebnog kiseonika.

– Osobine i prednosti

Glavna osobina ovog procesa je efikasni transfer kiseonika. Primenom ovog procesa dobijaju se manji reaktori (zauzimaju manju površinu zemljišta od tehnologija za aktiviranje mulja vazduhom) i manji mehanički aeratori (glavni troškovi i troškovi aeracije po jedinici biološkog opterećenja su niži od tehnologija za aktiviranje mulja vazduhom).

Pokriveni reaktori kod kojih je primenjen ovaj proces dozvoljavaju kontrolu emisije isparljivih organskih jedinjenja, omogućavaju visoku iskorišćenost kiseonika, kontrolišu neprijatne mirise i aerosole i redukuju osetljivost na promenljive klimatske faktore.

Dobre osobine ovog procesa su što nivo rastvorenog kiseonika u visokohomogenizovanoj smeši (suspenziji) poboljšava stabilnost procesa u toku različitih uslova organskog opterećenja i minimizira potencijal za razmnožavanje filamentoznih bakterija.

Nivo čvrstih čestica u visokohomogenizovanoj smeši (suspenziji) obezbeđuje širok opseg hrane za mikroorganizme (F/M) koji se koriste u operaciji.

Snabdevanje kiseonikom sa kontrolisanim pritiskom omogućava automatsku kontrolu kiseonika koji se dovodi u reaktor radi udovoljavanja različitim biološkim zahtevima, poboljšava tačnost i redukuje održavanje nasuprot kontroli rastvorenog kiseonika i obezbeđuje automatski rad koji oslobađa operatere za druge zadatke.

Stvaranje tečne faze poboljšava pouzdanost procesa minimizira potencijal za razmnožavanje filamentoznih mikroorganizama.

Površinski mehanički aeratori, eliminišu potrebu za kiseonikom pod visokim pritiskom i minimiziraju stvaranje pene u aeracionom bazenu.

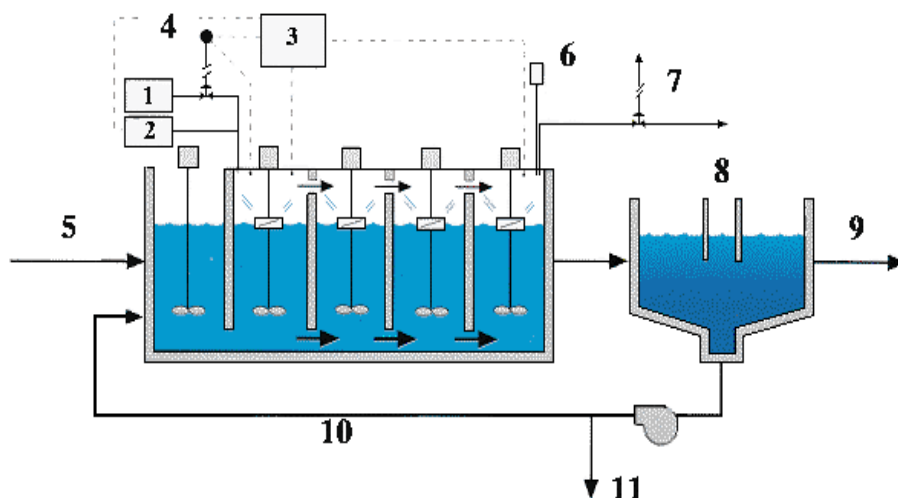
Napredni tretman koji se vrši u ovom procesu obezbeđuje da se vrši jednostruka nitrifikacija mulja, omogućava da se alkalnost može obnoviti i smanjuje utrošak energije.

— Tehnički opis

OASES sistem se sastoji od aeracionih bazena, mehaničkih aeratora, dovoda gasovitog (molekulskog) kiseonika i sistema za njegovo ispuštanje kao i sistema za zaštitu opreme i radnika. Prethodna slika prikazuje konfiguraciju i glavne komponente tipskog operacionog OASES

sistema. Aeracioni rezervoari su podeljeni na paralelne pruge gde svaka pruga prihvata jednaku količinu otpadne vode. Svaka pruga se dalje deli pomoću zidova lociranih i u tečnoj i gasovitoj fazi radi stvaranja određenog broja odvojenih komora na svakoj pruzi. Jedan ili više mehaničkih aeratora se postavlja u svaku komoru da bi se obezbedila aeracija i mešanje otpadne vode i bioloških čvrstih čestica. Otpadna voda i reciklirani aktivni mulj zajedno formiraju biološku visoko homogenizovanu smešu (suspenciju), dovode se u prvu komoru i teku kroz dalje komore. Visoko homogenizovana smeša se u sekundarnom prečištaču postepeno diferencira na prečišćeni efluent i aktivni mulj. Prikaz postrojenja sa procesom Oases je prikazan na slici 37.

Slika 37 - Prikaz procesa Oases



Legenda : 1. Snabdevanje kiseonikom, 2. Čist vazduh, 3. Sigurnosni sistem za zatvaranje, 4. Kontrola dopremanja kiseonika, 5. Influent - otpadne voda, 6. Odzračni ventil, 7. Kontrola protoka kiseonika, 8. Taložnik 9. Efluent - prečišćena otpadna voda 10. Povratni aktivni mulj, 11. Višak mulja - otpadni mulj

– **Tečna faza**

Svaki mehanički površinski aerator je dimenzioniran tako da proizvodi dovoljnu masu kiseonika za potrebe metabolizma bioloških čvrstih čestica pod uslovima maksimalnog opterećenja. Sistem je projektovan da funkcioniše ekonomično i kod situacije kada je nivo rastvorenog kiseonika viši u odnosu na sisteme mulja aktiviranog vazduhom. U prvoj komori se rastvoreni kiseonik održava na visokom nivou (8-10 mg/l) da bi se osigurao dovoz kiseonika na mesta gde se vrši biološka potrošnja kiseonika. Kako biološka potreba za kiseonikom opada kroz reaktor, projektovana količina rastvorenog kiseonika se redukuje u skladu sa tim, da bi se postigla efikasna potrošnja kiseonika i energije (struje). Prosečna količina rastvorenog kiseonika preko osnove OASES reaktora se održava na 4-6 mg/l za razliku od sistema za aktiviranje mulja kiseonikom gde je prosečan utrošak 1-2 mg/l. Ovakva veća potrošnja kiseonika, delom je odgovorna za veću stabilnost procesa za aktiviranje mulja kiseonikom kao i željene osobine mulja koje se postižu. Projektovana koncentracija suspendovanih čvrstih čestica visoko homogenizovane smeše u OASES sistemu je generalno preko 4 000 mg/l, i približno je dvostruko veća od tipičnog nivoa u sistemu za aktiviranje mulja kiseonikom. Ovakav visok nivo suspendovanih čvrstih čestica

visoko homogenizovane smeše se može postići zbog visoke sposobnosti za transfer kiseonika OASES sistema kao i zbog unapređenih karakteristika taloženja biomase. Na ovakvom nivou suspendovanih čvrstih čestica visokohomogenizovane smeše, vreme hidrauličkog zadržavanja je manje od polovine vremena potrebnog za sisteme sa aktiviranjem mulja pomoću kiseonika. Ovo smanjuje zapreminu bazena za aeraciju kao i ukupnu cenu koja se odnosi na ovu komponentu OASES sistema.

– **Gasna faza**

Aeracioni bazen je opremljen poklopcem preko komora da bi se kiseonik zadržao u okviru sistema. Dovod kiseonika se nalazi ispod poklopca aeracionog rezervoara prve aeracione komore. Otvori u zidu između komora omogućavaju postepen protok od prve do poslednje komore. Na poslednjoj komori se postavlja ozračni ventil za ispuštanje neiskorišćenog kiseonika, ugljen dioksida generisanog iz bioloških procesa i azota. Kontrola protoka kiseonika se postiže kontrolorom pritiska i kontrolnim ventilom na dovodu kiseonika. Kontroler pritiska prati i kontroliše pritisak u prvoj gasnoj komori od 2 do 4 inča vodenog stuba. U odnosu na to, da li je biološka potreba za kiseonikom otpadne vode veća ili manja, kontroler otvara ili zatvara kontrolni ventil za regulisanje dovoda kiseonika radi održavanja gasnog pritiska prve komore na traženom nivou.

Ispuštanje gasova iz poslednje aeracione komore se kontroliše pomoću ozračnog ventila. Ovaj gas se sastoji od preostalog kiseonika sa vodom, ugljen dioksida i azota. Gas koji se ispušta se kontinualno prati pomoću analizatora kiseonika da bi se osiguralo od ispuštanja veće količine (viška) kiseonika. Odzračni ventil može biti projektovan bilo za automatsku ili ručnu kontrolu. U oba slučaja, položaj ventila kontroliše održavanje gasa koji se ispušta što rezultuje visokim iskorišćenjem kiseonika (oko 90%).

Proces i oprema su snabdeveni sa dva sigurnosna sistema. Kombinacija vakuum/pritisak ventila za oslobađanje je postavljena za gasni prostor prve i poslednje komore svake aeracione pruge. Ovi ventili obezbeđuju osiguranje od podpritiska i nadpritiska u aeracionom rezervoaru. Ako dođe do pojave izuzetno visokog ili niskog pritiska u rezervoaru, ovi ventili se automatski otvaraju radi sprečavanja havarije. Drugi sistem obezbeđuje kontinualno praćenje-monitoring nivoa ugljovodonika u gasnom prostoru prve i poslednje komore u okviru svake pruge. Ako se detektuje nedozvoljena koncentracija ugljovodonika, oglašava se alarm koji upozorava zaposlene, dovod kiseonika se automatski prekida i vazdušno čišćenje gasnog prostora automatski započinje.

– **Dovod kiseonika**

Postrojenja za preradu otpadnih voda su generalno snabdevena i sistemima za pravljenje kiseonika na licu mesta kao i sistemima za skladištenje tečnog kiseonika. Koriste se i kriogeni i nekriogeni (adsorpcioni) sistemi za pravljenje kiseonika. Selekcija dovođenja kiseonika je u funkciji i od veličine potreba (tona kiseonika/dan) kao i od operativnog opsega. Sistem za skladištenje tečnog kiseonika se koristi kada je generator (za pravljenje kiseonika) isključen, kao i za izravnjanje maksimalnih potreba kada biološka potrošnja kiseonika prevazilazi kapacitete sistema za generisanje (stvaranje) kiseonika. Projektovana čistoća kiseonika (90-98%) takođe utiče na dimenzionisanje opreme za rastvaranje. Kada je dobro isprojektovana, šema kontrole procesa povezuje sisteme za rastvaranje i generisanje da bi se obezbedila proizvodnja kiseonika koja odgovara potrebama. Ovo rezultuje racionalnim korišćenjem energije kao i stabilnim tretmanom otpadnih voda.

4. POLAZNI PRINCIPI ZA PROJEKTOVANJE POSTROJENJA ZA PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA

Projektovanje postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda zahteva studiozan pristup prilikom opredeljivanja za određenu tehnologiju i tehniku, ne samo sa tehničkog aspekta i aspekta struke.

Da bi se izabralo odgovarajuće i kvalitetno postrojenje za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda neophodno je ispoštovati osnovne polazne principe projektovanja za ovakve objekte značajne infrastrukture urbanih sredina.

Polazni principi za projektovanje postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda se mogu grupisati u nekoliko kategorija.

4.1. Princip podobnosti u odnosu na klimatske, sociološke i etnološke faktore

Prilikom projektovanja postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda jedno od osnovnih polaznih opredeljenja, od kojih zavisi kompletan dalji rad na projektovanju, predstavlja izbor tehnologije koja će odgovarati klimatskim uslovima u konkretnoj sredini.

Takođe, klimatski faktori utiču na postavljanje predoperacija, kao i tehničke modifikacije, u okviru poznatih tehnologija i tehnika prečišćavanja komunalnih otpadnih voda.

Ako je konkretna urbana sredina izložena intenzivnijim padavinama, a kišna kanalizacija nije posebno izvedena, ili nije potpuno odvojena, što je najčešći slučaj u našoj sredini, korisno je predvideti projektom predbazen za separaciju, koji će sprečiti stvaranje nanosa peska na postrojenju usled obilnih kiša.

Osim ovoga, treba osmisliti i tehniku čišćenja u prvim objektima i uređajima u postrojenju, koji su najviše izloženi nanosu peska. Svaka improvizacija tehničkih rešenja, koja se u našoj praksi mahom svodi na ručne metode bez adekvatne podrške mehanike za izvlačenje nanosa, pravi velike probleme prilikom eksploatacije, pošto ne uzima u obzir potreban kvantitet čišćenja u konkretnim objektima i uređajima.

Od intenziteta i dužine zimskog perioda zavisi koja će se tehnika postaviti za aerisanje u bioaeracionim bazenima.

Takođe, veliki problem predstavljaju i podloge za pogonske elemente, koje u uslovima velikih klimatskih promena tokom godine, imaju značajno kraći vek trajanja od planiranog. Posebno su na ovo osetljive obodne ivice radijalnih dekantera, najčešće rađene od betonskih maltera, po kojima se kreću izuzetno maseno opterećeni pogonski točkovi mostova dekantera. Krpljenje betonskih maltera tokom eksploatacije ne može uopšte rešiti ovaj problem. Stoga se moraju osmisliti dovoljno izdržljive podloge, ne samo po pitanju potrebne tvrdoće i čvrstoće materijala, već i otpornosti na klimatske uslove.

Ruža vetrova takođe može da zahteva određena usmeravanja tehnike i tehnologije. Ukoliko je područje izloženo dejstvu intenzivnijih vetrova potrebno je izbegavati plivajuće aeratore u biološkim bazenima, usled velike kontaminacije okolne sredine raznošenjem kapljičastih aerosolova vetrom.

Na sličan način treba razmotriti i ostale aspekte klimatskih uticaja na konkretnu tehnologiju i opremu.

Sociološki i etnološki faktori uključuju pre svega tradiciju i kulturu lokalnog stanovništva po pitanju odlaganja otpada. Na žalost, kod nas je ova kultura na nižem nivou, na šta se mora računati prilikom projektovanja postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda.

Komunalne otpadne vode sa našeg prostora su maksimalno opterećene sadržajima komadnog čvrstog otpada. Komadni otpad može neretko biti čak i ekstremnih dimenzija, kao što su životinjski leševi, delovi nameštaja i slično.

Potrebno je osmisлити određene mere zaštite čak i samih kanalizacionih kolektora, a ne samo postrojenja, odnosno početnih objekata i opreme na postrojenju.

Posebno je za veće urbane sredine kod nas karakteristična enormna količina različitog plivajućeg otpada, pre svega plastičnih kesa, papira, vate i sličnih plivajućih materijala. Ovi materijali mogu da zaguše pa čak i izbace iz funkcije veći broj objekata i uređaja, posebno iz dela primarne obrade.

Stoga za veća mesta (> 100 000 ES) obavezno treba osmisлити predtretman plivajućeg otpada, pa makar i u formi specifičnog egalizacionog predbazena, ako nije moguće iznaći neko kvalitetnije i efikasnije mehaničko rešenje.

Shodno navedenim procenama, na bazi poznavanja klimatskih, socioloških i etnoloških faktora, treba postaviti u okviru odgovarajuće tehnologije takva tehnička rešenja, koja mogu kako tehnički, tako i mehanički, zadovoljiti potrebne efekte za separacije i koja će moći da "prerade" enormno očekivane količine.

4.2. Princip striktnog poštovanja zakonskih odredbi i normativa u odnosu na zaštitu životne sredine

Osnovni kriterijumi prilikom pristupanja projektovanju postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda su:

- striktno poštovanje zakonskih normi i propisa
- poštovanje realnih kapaciteta odabranog recipijenta u odnosu na prijem zagađujućih materija

Zakonski propisi su javno dostupni i poznati, tako da posebne preporuke o tome kako se poštuju zakonske norme i propisi prilikom projektovanja nisu neophodne.

Prilikom projektovanja postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda neophodno je da se odabere ona tehnologija koja će garantovati sve parametre efluenta potrebne za konkretni recipijent. Nije dovoljno samo ispoštovati opšte zakonske norme i principe za efluente. Nije isto kada gradski kolektor (u čiji sastav ulazi i fabrički kompleks "Goša") iz Smederevske Palanke ispušta otpadne vode u reku Jasenicu i kada mesna kanalizacija (u čiji sastav ulazi neka mehaničarska radionica) iz Tekije ispušta svoje otpadne vode u Dunav. Ne mogu se ova dva slučaja podvesti pod iste kriterijume za kvalitet efluenta. Isti princip važi i za komunalne otpadne vode. Ne mogu se veliki gradovi, koji gravitiraju malim rečnim recipijentima za evakuaciju komunalnih otpadnih voda isto ponašati kao mala naselja uz Dunav, ili Savu.

U okviru izabrane odgovarajuće tehnologije prečišćavanja moraju se birati i koristiti ona tehničko-tehnološka rešenja, koja garantuju potreban stepen prečišćavanja da bi se dostigli potrebni parametri u odnosu na zakonske propise, a takođe i u odnosu na realni kapacitet konkretnog recipijenta.

Međutim, obično nismo u situaciji da pribavimo sve relevantne podatke za ocenjivanje kapaciteta recipijenta prema zagađujućim materijama.

Stoga je često neophodno izvršiti sve neophodne analize, pre odlučivanja o tipu i stepenu primenjene tehnologije za prečišćavanje otpadnih voda, kako bi odabrali odgovarajuću tehnologiju i stepen obrade otpadnih voda u cilju zaštite recipijenata.

U okviru ovih principa treba podvesti i princip propisivanja Pravilnika o korišćenju kanalizacije, pre svega za industrijske i zanatske objekte, kao i analizu i propisivanje neophodnih predtretmana otpadnih voda za sve korisnike kanalizacione mreže. Tek nakon svega ovoga se može pristupiti samom projektovanju.

4.3. Princip racionalizacije projektovanja, izvođenja i održavanja postrojenja na nivou Srbije

Ovaj princip podrazumeva dva bitna aspekata:

- postavljanje poznatih, proverenih postrojenja, sa poznatim eksploatacionim rezultatima u odgovarajućim srodnim uslovima
- korišćenje u projektima tehnike i opreme koja se može uspešno nabaviti, servisirati u razumnom roku, zameniti i održavati

Da bi se došlo do podataka o prvom aspektu neophodno je izvršiti sistematizaciju i analizu postojećih postrojenja kod nas, kao i sličnih u svetu, te načiniti određenu standardizaciju, kao što je to prikazano u ovoj publikaciji.

Drugi aspekt je jako bitan sa praktičnog stanovišta, pošto trenutno na našim postrojenjima ima velikih problema kod servisiranja i zamenjivanja delova opreme, kao i zamen opreme van funkcije novom opremom, ne samo iz inostranstva, već i iz bivših jugoslovenskih republika.

Stoga, prilikom odabira tehnike treba imati u vidu i sve alternativne mogućnosti u interventnim uslovima, kao što su uslovi poslednje decenije kod nas.

Za dobar projekat je najvažnije postaviti dobre polazne osnove za projektovanje.

Dobre polazne osnove se ne mogu postaviti bez napred navedenih principa, bez obzira koliko je projektant tehnički stručan i usavrešen.

Stoga napominjemo da se ovim polaznim principima mora prilikom projektovanja poklanjati dužna pažnja, kako ne bi napravili idealan projekat, ali za drugo vreme, drugo mesto i drugi narod, a meštani koji su ga postavili mogu samo da ga gledaju i da se dive lepoti i savremenosti postrojenja, a ne mogu ga adekvatno koristiti.

A P P E N D I X

**DIREKTIVA EVROPSKOG SAVETA
OD 21. MAJA 1991. GODINE
KOJA SE ODNOSI NA PREČIŠĆAVANJE
GRADSKIH OTPADNIH VODA
(91/27/EEC)**

SAVET EVROPSKIH DRŽAVA

Uvažavajući

- ugovor o osnivanju Evropske Ekonomske Zajednice, a naročito Član 130s
 - predlog Komisije (OJ. N^o C 1, 4. 1. 1990., s. 20 I OJ. N^o C 287, 15. 11. 1990, s. 11)
 - mišljenje Evropskog Parlamenta (OJ. N^o C 260, 15. 10. 1990. s. 185)
 - mišljenje Ekonomskog i Socijalnog Komiteta (OJ. N^o C 168, 10. 07. 1990, s. 36)
- i imajući u vidu da
- je Rezolucijom Saveta od 28. juna 1988. o zaštiti Severnog mora i drugih voda Zajednice pozvana Komisija da za prečišćavanje gradskih otpadnih voda podnese predlog potrebnih mera na nivou Zajednice;
 - usled nedovoljnog prečišćavanja otpadnih voda u jednoj Zemlji članici često dolazi do uticaja na vode u drugim Zemljama članicama; otuda je u saglasnosti sa Članom 130r, neophodno delovanje na nivou Zajednice;
 - u cilju sprečavanja ugrožavanja životne sredine ispuštanjem nedovoljno prečišćenih gradskih otpadnih voda nastala je opšta potreba za njihovim sekundarnim prečišćavanjem;
 - u nekim osetljivim područjima treba zahtevati potpunije prečišćavanje, dok se u nekim manje osetljivim područjima primarno prečišćavanje može smatrati zadovoljavajućim;
 - industrijske otpadne vode koje ulaze u sabirne sisteme kao i ispuštanje otpadnih voda i dispozicija mulja iz gradskih postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda treba da bude podvrgnuta opštim pravilima ili pripisima i/ili posebnim odobrenjima;
 - biološki razgradljive otpadne vode iz izvesnih industrijskih sektora, koje ne ulaze u gradska postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, moraju pre ispuštanja u prirodne prijemnike da budu podvrgnute odgovarajućim zahtevima;
 - reciklaža mulja koji potiče iz prečišćavanja otpadnih voda treba a bude podržana, a dispozicija mulja u površinske vode napuštena;
 - praćenje kvaliteta prečišćenje vode, prirodnih prijemnika i dispozicije mulja treba neophodno zavesti u cilju obezbeđenja zaštite životne sredine od nepovoljnih dejstava ispuštanja otpadnih voda;
 - treba osigurati obaveštavanje javnosti o ispuštanju otpadnih voda i mulja putem povremenih izveštaja;
 - Zemlje članice treba da pripreme i podnesu Komisiji nacionalne programe za sprovođenje direktive; i
 - treba osnovati Komitet za pomoć Komisiji u pogledu sprovođenja direktive i za njeno prilagođavanje tehničkom napretku.

USVOJIO JE OVU DIREKTIVU!

Član 1.

Ova Direktiva se odnosi na sakupljanje, prečišćavanje i ispuštanje gradskih otpadnih voda i prečišćavanje i ispuštanje otpadnih voda iz izvesnih industrijskih sektora. Cilj Direktive je zaštita životne sredine od nepovoljnih uticaja gore pomenutog ispuštanja otpadnih voda.

Član 2.

1. **"gradska otpadna voda"** znači domaća upotrebljena voda ili mešavina domaće sa industrijskom upotrebljenom vodom i/ili kišnicom;
2. **"domaća upotrebljena voda"** znači voda iz stambenih naselja i servisa, koja potiče prvenstveno od ljudskog metabolizma i od domaćih aktivnosti;
3. **"industrijska upotrebljena voda"** znači bilo koja otpadna voda koja se izliva iz prostorija koje se koriste za sprovođenje zanatske ili industrijske delatnosti, osim domaće upotrebljene vode i kišnice;
4. **"aglomeracija"** znači oblast gde je stanovništvo i/ili ekonomska aktivnost dovoljno koncentrisana da se može gradska otpadna voda sakupiti i provesti do gradskog postrojenja za prečišćavanje ili na mesto za ispuštanje u prirodnu sredinu;
5. **"sabirni sistem"** znači sistem provodnika koji sakupljaju i sprovode gradsku otpadnu vodu.
6. **"1 E.S. (ekvivalentni stanovnik)"** znači organsko biološki razgradljivo opterećenje koje pokazuje petodnevnu biološku potrošnju kiseonika (BPK₅) od 60 g O₂ na dan;
7. **"primarno prečišćavanje"** znači prečišćavanje gradske otpadne vode fizičkim i/ili hemijskim postupkom koji obuhvata taloženje suspendovanih sastojaka, ili druge postupke u kojima se pre ispuštanja BPK₅ otpadne vode smanjuje na najmanje 20% a ukupni suspendovani sastojci za najmanje 50%;
8. **"sekundarno prečišćavanje"** znači prečišćavanje gradske otpadne vode postupkom koji obično obuhvata biološko prečišćavanje sa sekundarnim taloženjem ili drugi postupak u kome su ispunjeni zahtevi iz Tabele 1 u dodatku I;
9. **"prikladno prečišćavanje"** znači prečišćavanje gradske otpadne vode postupkom koji obično obuhvata biološko prečišćavanje gradske otpadne vode nekim postupkom i/ili sistemom dispozicije, tako da posle ispuštanja dozvoljava da prijemna voda ispunjava odgovarajući kvalitet i odgovarajuće odredbe drugih Direktiva Zajednice;
10. **"mulj"** znači zaostali mulj, bilo obrađen ili neobrađen, iz gradskih postrojenja za prečišćavanje otpadne vode;
11. **"eutrofizacija"** znači obogađivanje vode hranljivim sastojcima (nutrijentima), naročito jedinjenjima azota i/ili fosfora, koji izaziva ubrazno razmnožavanje algi i viših biljaka i stvara nepoželjne promene ravnoteže organizama prisutnih u vodi i kvaliteta vode koja je u pitanju;
12. **"estuarijum"** znači prelazna oblast na ušću reke između slatke vode i obalske vode; Zemlje članice treba da utvrde spoljne (prema moru) granice estuarijuma za svrhe ove direktive, kao deo programa za njeno sprovođenje u saglasnosti sa odredbama Člana 17 (1) i (2).
13. **"obalne vode"** znači vode izvan linije male vode ili granice estaurijuma.

Član 3.

1. Zemlje članice treba da osiguraju da sve aglomeracije budu opremljene sistemima za sakupljanje gradskih otpadnih voda.

- najdalje od 31. 12. 2000. godine. za one sa populacionim ekvivalentom većim od 15 000 E.S., i
- najdalje do 31. 12. 2005. godine. za one sa između 2 000 E.S. i 15 000 E.S.

Za gradske otpadne vode koje se izlivaju u prijemne vode koje se smatraju "osetljivim oblastima" definisanim u Članu 5, Zemlje članice treba da osiguraju izgradnju sabirnih sistem najdalje do 31. decembra 1998. godine. za aglomeracije veće od 10 000 E.S.

Gde uspostavljanje sabirnog sistema nije opravdano, bilo zbog toga što neće pružiti korist za životnu sredinu ili zbog toga što će biti skopčano sa izuzetnim troškovima, treba primeniti pojedinačne sisteme ili druge prikladne sisteme kojima se postiže ista zaštita životne sredine.

2. Sabirni sistemi opisani u stavu 1 da ispune zahteve iz Dodatka I (A). Ovi zahtevi mogu biti izmenjeni u skladu sa postupkom postavljenim u Članu 18.

Član 4.

1. Zemlje članice treba da osiguraju da gradske otpadne vode koje ulaze u sabirne sisteme pre ispuštanja budu podvrgnute sekundarnom prečišćavanju ili odgovarajućem prečišćavanju kako sledi:

najdalje od 31. 12. 2000. godine. za sva izlivanja iz aglomeracija većih od 15000 E.S.,
najdalje do 31. 12. 2005. godine. za sva izlivanja iz aglomeracija između 10000 i 15000 E.S.,
najdalje do 31. 12. 2005. godine. za sve izlive u slatku vodu i estuarijume iz naselja između 2000 i 10000 E.S.

2. Izlivi gradskih otpadnih voda u vode u visokim planinskim oblastima (iznad 1 500 mnm), gde je teško primeniti efikasno biološko prečišćavanje usled niskih temperatura, mogu biti podvrgnuti manje oštrom prečišćavanju nego onom propisanom u stavu 1, uz uslov da: detaljne studije pokazuju da takvi izlivi neće nepovoljno uticati na životnu sredinu.

3. Izlivi iz gradskih postrojenja za prečišćavanje, opisanih u stavovima 1 i 2, treba da ispunjavaju odgovarajuće zahteve iz Dodatka IB. Ovi zahtevi mogu biti izmenjeni u skladu sa postupkom postavljenim u Članu 18.

4. Opterećenje izraženo u E.S. treba da se računa na osnovu najvećeg prosečnog nedeljnog opterećenja koje dolazi na postrojenje za prečišćavanje tokom godine, isključujući takve izuzetne prilike kao što je jaka kiša.

Član 5.

1. U vezi sa stavom 2 Zemlje članice treba do 31. 12. 1993. godine da utvrde osetljive oblasti shodno merilima postavljenim u Dodatku II.

2. Zemlje članice treba da osiguraju da gradske otpadne vode koje ulaze u sabirne sisteme budu pre ispuštanja u osetljive oblasti podvrgnute strožijem prečišćavanju od onog opisanog u članu 4, najdalje do 31. 12. 1998. godine, za sve aglomeracije veće od 10 000 E.S.

3. Izlivi iz gradskih postrojenja za prečišćavanje opisanih u stavu 2 treba da ispunjavaju odgovarajuće zahteve iz Dodatka IB. Ovi zahtevi mogu biti izmenjeni u skladu sa postupkom postavljenim u Članu 18.

4. Alternativno, zahtevi za pojedina postrojenja postavljeni u stavovima 2. i 3. ne moraju biti primenjeni u osetljivim oblastima ako može biti pokazano da najmanji procenat smanjenja ukupnog opterećenja koje ulazi na sva gradska postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda u oblasti iznosi najmanje 75% za ukupan fosfor i najmanje 75% za ukupan azot.

5. Izlivi iz gradskih postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda koja se nalaze u odgovarajućim slivnim područjima osetljivih oblasti i koji doprinose zagađenju ovih oblasti moraju se podvrći stavovima 2, 3 i 4.

U slučajevima kad se ova slivna područja nalaze u celini ili delimično u drugoj Zemlji članici, primenjuje se Član 9.

6. Zemlje članice treba da osiguraju da se određivanje osetljivih oblasti proverava u razmacima ne dužim od četiri godine.

7. Zemlje članice treba da osiguraju da oblasti koje su određene kao osetljive posle provera iz stava 6 ispune gornje uslove u toku od 7 godina.

8. Zemlja članica ne mora da određuje osetljive oblasti u smislu ove direktive ako ona sprovodi prečišćavanje ustanovljeno u stavovima 2, 3 i 4 na celoj svojoj teritoriji.

Član 6.

1. U cilju primene stava 2, Zemlje članice mogu do 31. 12. 1993. godine. utvrditi manje osetljive oblasti saglasno merilima postavljenim u dodatku II.
2. Gradske otpadne vode iz aglomeracija veličine između 10 000 i 150 000 E.S. koje se ispuštaju u obalne vode i one koje se iz aglomeracija veličine između 2 000 i 10 000 E.S. ispuštaju u estuarijume koji se nalaze u oblastima navedenim u stavu 1, mogu biti podvrgnute manje oštrom prečišćavanju od onoga propisanog Članom 4 pod uslovom da:
se takve vode bar primarno prečiste kako je određeno Članom 2 (7) u saglasnosti sa kontrolnim postupkom postavljenim u dodatku IB.
Detaljne studije pokazuju a takvo ispuštanje neće nepovoljno delovati na životnu sredinu.
Zemlje članice će pružiti Komisiji sve odgovarajuća obaveštenja u vezi sa gore pomenutim studijama.
3. Ako Komisija smatra da uslovi postavljeni u stavu 2 nisu ispunjeni, ona će Savetu podneti odgovarajući predlog.
4. Zemlje članice će osigurati da se određivanje manje osetljivih oblasti proverava u razmacima ne dužim od četiri godine.
5. Zemlje članice će obezbediti da oblasti koje više nisu ocenjene kao manje osetljive zadovolje zahteve iz Člana 4 i 5 u toku od sedam godina.

Član 7.

Zemlje članice će osigurati da će, do 31. 12 2005.g., gradske otpadne vode koje ulaze u sabirne sistem pre ispuštanja biti podvrgnute odgovarajućem prečišćavanju kako je određeno Članom 2 (9) u sledećim slučajevima:

- za izlive u slatku vodu i estuarijume iz aglomeracija manjih od 2 000 E.S.
- za izlive u obalne vode iz aglomeracija manjih od 10 000 E.S.

Član 8.

1. Zemlje članice mogu, u izuzetnim slučajevima, usled tehničkih problema i za geografski određene populacione grupe, podneti poseban zahtev Komisiji za produženje roka iz člana 4.
2. Ovaj zahtev, za koji su osnove podnete na vreme, treba da istakne tehničke probleme na koje se naišlo i mora predložiti program delovanja koja će biti preduzeta radi sprovođenja ciljeva ove Direktive, sa odgovarajućim rokovima. Ovi rokovi će biti uključeni u program za izvršenje koji je naveden u Članu 7.
3. Samo tehnički razlozi mogu biti prihvaćeni a duž rok naveden u stavu 1. ne može preći 2005. godinu.
4. Komisija će razmotriti ovaj zahtev i preduzeti odgovarajuće mere u skladu sa postupkom postavljenim u članu 18.
5. U izuzetnim uslovima, kada se može pokazati da potpunije prečišćavanje neće proizvesti nikakvu korist za životnu sredinu, izlivi otpadnih voda iz aglomeracija većih od 150 000 E.S. u manje osetljive oblasti mogu biti podvrgnuti prečišćavanju predviđenom u Članu 6 za otpadne vode iz aglomeracija veličine između 10 000 - 150 000 E.S.
U takvim okolnostima Zemlje članice će unapred podneti odgovarajuću dokumentaciju Komisiji. Komisija će razmatrati slučaj i preduzeti odgovarajuće mere u saglasnosti sa postupkom postavljenim u Članu 8.

Član 9.

Kad su vode u oblasti pod upravom jedne Zemlje članice ugrožene ispuštanjem gradskih otpadnih voda iz druge Zemlje članice, Zemlja članica čije su vode ugrožene može obavestiti drugu Zemlju članicu i Komisiju o odgovarajućim činjenicama.

Zemlje članice o kojima je reč, kada je pogodno sa Komisijom, treba dogovorno da utvrde koji izlivi su u pitanju i koje mere treba preduzeti na izvoru radi zaštite ugroženih voda u cilju usaglašavanja sa odredbama ove Direktive.

Član 10.

Zemlje članice će obezbediti da gradska postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, izgrađena da odgovaraju zahtevima iz Članova 4, 5, 6 i 7, budu projektovana, izgrađena, vođena i održavana tako da osiguraju dovoljnu efikasnost pod svim normalnim mesnim klimatskim uslovima. Pri projektovanju moraju se uzeti u obzir sezonske promene opterećenja.

Član 11.

1. Zemlje članice će osigurati da, pre 31. 12. 1993. godine., izliv industrijskih otpadnih voda u sabirne sisteme i gradska postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda bude podvrgnut prethodnim propisima i/ili specifičnim dozvolama od strane kompetentnog ili odgovarajućeg tela.

2. Propisi i/ili specifične dozvole treba da zadovolje zahteve iz dodatka IC. Ovi zahtevi mogu biti izmenjeni u saglasnosti sa postupkom postavljenim u Članu 18.

3. Propisi i specifične dozvole moraju biti u pravilnim vremenskim razmacima razmatrani i ako je potrebno prilagođeni.

Član 12.

1. Prečišćena otpadna voda treba da bude ponovo korišćena kod god je pogodno. Putevi dispozicije treba da umanje u što većoj meri nepovoljna dejstva na životnu sredinu.

2. Kompetentne vlasti ili odgovarajuća tela osiguraće da dispozicija otpadnih voda iz gradskih postrojenja za prečišćavanje bude povrnuta prethodnim propisima i/ili specifičnom odobrenju.

3. Prethodni propisi i/ili specifično odobrenje za izlive iz gradskih postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, izdani u skladu sa stavom 2, u aglomeracijama od 2 000 do 10 000 E.S. u slučaju izlivanja u slatke vode i u estaurijume i od 10 000 E.S. ili više, u odnosu na sva izlivanja, treba da sadrže uslove u cilju zadovoljavanja odgovarajućih zahteva iz Dodatka IB. Ovi zahtevi mogu biti izmenjeni u skladu sa postupkom postavljenim u Članu 18.

4. Propisi i/ili odobrenje, biće ponovo razmatrani i ako je potrebno izmenjeni u pravilnim vremenskim razmacima.

Član 13.

1. Zemlje članice će osigurati da do 31. 12. 2000. godine. biološki razgradljive industrijske otpadne vode iz postrojenja koja pripadaju industrijskim sektorima pobrojanim u Dodatku III, koje ne ulaze u gradska postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, pre ispuštanja poštuju uslove ustanovljene u prethodnim propisima i/ili specifičnom odobrenju od strane kompetentnih vlasti ili odgovarajućeg tela, u odnosu na sve izlive iz postrojenja koja predstavljaju 4 000 E.S. ili više.

2. Do 31. 12. 1993. godine kompetentna vlast ili odgovarajuće telo svake Zemlje članice postaviće za ispuštanje takve otpadne vode zahteve koji odgovaraju prirodi industrije o kojoj je reč. 3. Komisija će sprovesti upoređenje zahteva Zemlja članica od 31. 12. 1994. godine. Ona će objaviti rezultate u jednom izveštaju i ako je potrebno dati odgovarajući predlog.

Član 14.

1. Mulj koji potiče od prečišćavanja otpadnih voda treba ponovo upotrebiti kad god je moguće. Putevi dispozicija treba da u najvećoj meri smanje nepovoljno delovanje na životnu sredinu.
2. Kompetentne vlasti ili odgovarajuća tela osiguraće da pre 31. decembra 1998. godine dispoziciju mulja sa gradskih postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda bude podvrgnuta opštim pravilima ili registraciji ili odbrenju.
3. Zemlje članice će osigurati da do 31. 12. 1998. godine. bude napuštena dispozicija mulja u površinske vode izručivanjem sa brodova, izlivanjem iz cevovoda ili na drugi način.
4. Do obustavljanja oblika dispozicije navedenih u stavu 3, Zemlje članice će osigurati da u mulju koji se ispušta u površinske vode ukupna količina toksičnih, nerazgradljivih ili materijala koji se akumuliraju u živim organizmima dobije odobrenje za ispuštanje i da se postepeno smanjuje.

Član 15.

1. Kompetentne vlasti ili odgovarajuća tela će pratiti:

- izlivanje iz gradskih postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda u cilju proveravanja saglasnosti sa zahtevima i Dodatka I B, u skladu sa postupcima kontrole postavljenim u Dodatku I D;
- količine i sastav mulja koji se unosi u površinske vode.

2. Kompetentne vlasti ili odgovarajuća tela će pratiti vode koje se izlivaju iz gradskih postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda i koje se neposredno izlivaju kao što je opisano u Članu 13, u slučajevima gde se može očekivati da će na prijemnu sredinu biti značajnih uticaja.
3. U slučaju izlivanja na koje se odnose odredbe iz Član 6 i u slučaju dispozicije mulja u površinske vode. Zemlje članice će pratiti i sprovesti druge odgovarajuće studije u cilju provere da ispuštanje ili dispozicija ne utiče nepovoljno na životnu sredinu.
4. Informacije prikupljene od strane kompetentnih vlasti ili odgovarajućih tela u saglasnosti sa stavovima 1, 2 i 3 treba da se čuvaju u Zemljama članicama i da se komisiji stave na raspolaganje u roku od šest meseci po dobijanju zahteva.
5. Uputstva za praćenje navedena u stavovima 1, 2 i 3 mogu biti pripremljena u saglasnosti sa postupkom postavljenim u Članu 18.

Član 16.

Bez štete o sprovođenju Direktive Saveta 90/313/EEC od 7. 06. 1990. godine. o slobodi pristupa informacijama o životnoj sredini (OJ N° L 158, 23. 6. 1990. godine. str. 56), Zemlje članice će osigurati da svake dve godine odgovorne vlasti ili tela objavljuju izveštaje o stanju u oblasti dispozicije gradskih otpadnih voda i mulja u njihovim oblastima . Ove izveštaje će Zemlje članice dostavljati Komisiji, čim se objave.

Član 17.

1. Zemlje članice će od 31. 12. 1993. godine uspostaviti program za sprovođenje ove Direktive.
2. Zemlje članice će od 30. juna 1994. godine. dostaviti Komisiji obaveštenje o programu.
3. Zemlje članice će, ako je neophodno, dostaviti Komisiji do 30. 06. svake druge godine dopunjeno obaveštenje opisano u stavu 2.
4. Postupke i formulare koje treba primeniti za podnošenje izveštaja o nacionalnim programima treba odrediti u saglasnosti sa postupkom postavljenim u Članu 18. Svaka izmena ovih postupaka i formulara treba da se primeni u sagasnosti sa istim postupkom.
5. Komisija će svake druge godine pregledati i proceniti primljeno obaveštenje u skladu sa stavovima 2 i 3 gore i objaviti izveštaj o tome.

Član 18.

1. Komisija će biti potpomognuta Komitetom sastavljenim od predsednika Zemalja članica, kome će predsedavati predstavnik Komisije.

2. Predstavnik Komisije će podneti Komitetu nacrt mera koje treba preduzeti. Komitet će dati svoje mišljenje o nacrtu u roku koji predsednik može odrediti saglasno hitnosti problema. Mišljenje treba da bude izglasano od većine predviđene u Članu 148 (2) Ugovora, u slučaju odluka koje treba da usvoji Savet na predlog komisije. Glasovima predstavnika Zemalja članica u Komitetu treba dodeliti težinu saglasno Članu 148 (2). Predsednik ne glasa.

3.

(a) Komisija će usvojiti predviđene mere ako su u skladu sa mišljenjem Komiteta.

(b) Ako predviđene mere nisu u skladu sa mišljenjem Komiteta, ili ako mišljenje nije izglasano, Komisija će, bez odlaganja, podneti Savetu predlog u vezi sa merama koje treba preduzeti. Savet će delovati sa kvalifikovanom većinom.

Ako, po isteku roka od tri meseca od dana podnošenja predloga Savetu, Savet nije delovao, predviđene mere će usvojiti Komisija, izuzev kad je Savet odlučio protiv navedenih mera prostom većinom.

Član 19.

1. Zemlje članice će proglasiti punovažnim zakone, pravila i administrativne odluke potrebne za usaglašavanje sa ovom Direktivom najkasnije do 30. 06. 1993. godine. O tome će odmah odmah obavestiti Komisiju.

2. Kad Zemlje članice usvoje mere pomenute u stavu 1. one se moraju pozvati na ovu Direktivu ili moraju biti praćene ovakvim pozivom pri njihovom zvaničnom objavljivanju. Načine ovog pozivanja odrediće Zemlje članice.

3. Zemlje članice će dostaviti Komisiji tekstove glavnih odredbi nacionalnog zakona u oblasti regulisanoj ovom Direktivom.

Član 20.

Ova Direktiva upućena je Zemljama članicama.

zrađeno u Briselu

21. maja 1991. godine.

Za Savet
Predsednik
R. Štajhen

DODATAK I
ZAHTEVI ZA GRADSKO OTPADNE VODE

A. SABIRNI SISTEMI(*)

Sabirni sistemi moraju uzeti u obzir zahteve za prečišćavanje otpadne vode. Projekat, izgradnja i održavanje sabirnih sistema treba da se preduzmu u skladu sa najboljim tehničkim znanjima, bez preteranih troškova, i to uzev u obzir:

- zapreminu i osobine gradske otpadne vode;
- sprečavanje procurivanja;
- ograničavanje zagađivanje prijemnih voda usled preliivanja kišnice.

B. IZLIVANJE IZ GRADSKIH POSTROJENJA ZA PREČIŠĆAVANJE OTPADNIH VODA U PRIJEMNE VODE (*)

1. Postrojenja za prečišćavanje otpadne vode treba projektovati ili izmeniti tako da reprezentativni uzorci dolazeće otpadne vode i prečišćene vode mogu da budu zahvaćeni pre izlivanja u prijemne vode.
2. Izlivi iz gradskih postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda, podvrgnuti prečišćavanju u skladu sa Članom 4 i 5, moraju zadovoljavati zahteve date u Tabeli 1.
3. Izlivi iz gradskih postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda u takve osetljive oblasti koje su izložene eutrofizaciji kako su određene u dodatku II A (a) moraju pored toga zadovoljiti i uslove date u Tabeli 2 ovog Dodatka.
4. Oštiri zahtevi od onih prikazanih u Tabeli 1 i/ili 2 moraju biti primenjeni tamo gde se zahteva obezbeđenje da prijemne vode treba da zadovoljavaju druge odgovarajuće Direktive.
5. Mesta ispuštanja gradskih otpadnih voda treba da budu tako izabrana da se naj više moguće smanji uticaj na prijemne vode.

- (*) Kako u praksi nije moguće izgraditi sabirne sistem i postrojenja za prečišćavanje tako da sve otpadne vode mogu biti prečišćavane u situacijama takvim kao pri neuobičajeno jakim kišama. Zemlje članice treba da odluče da ograniče zagađenje preko kišnih preliiva. Takve mere se mogu zasnivati na razblaženju ili kapacitetu u odnosu na protok pri suvom vremenu ili se može propisati neki prihvatljiv broj preliivanja preko godine.

C. INDUSTRIJSKA OTPADNA VODA

Industrijska otpadna voda koja ulazi u sabirni sistem gradskih postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda mora biti podvrgnuta takvom prethodnom prečišćavanju kakav se traži u cilju da se:

- zaštititi zdravlje osoblja koje radi u sabirnim sistemima i postrojenjima za prečišćavanje;
- osigura da sabirni sistemi, postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda i oprema u njima ne budu oštećeni;
- osigura da rad postrojenja za prečišćavanje otpadne vode i obradu mulja ne bude ometan;
- osigura da izlivi iz postrojenja za prečišćavanje ne utiču nepovoljno na životnu sredinu ili sprečavaju da prijemne vode odgovaraju drugim Direktivama Zajednice;
- osigura da se mulj može bezbedno odlagati na način prihvatljiv za životnu sredinu.

D. REFERENTNE METODE ZA PRAĆENJE OSOBINA I OCENU REZULTATA

1. Zemlje članice će osigurati da se primenjuje metoda praćenja koja odgovara bar nivou zahteva koji su dole izloženi.

Alternativne metode ovima koje su navedene u stavovima 2, 3 i 4 mogu se koristiti ako se može pokazati da daju rezultate iste vrednosti.

Zemlje članice treba Komisiji da pruže sva odgovarajuća obaveštenja koja se odnose na primljenu metodu. Ako Komisija smatra da uslovi postavljeni u stavovima 2, 3 i 4 nisu ispunjeni, ona će podneti odgovarajući predlog Savetu.

2. Uzorci proporcionalni protoku, ili vremenski bazirani u toku 24 h, u cilju praćenja usaglašenosti sa zahtevima za izlive postavljene u ovoj Direktivi, treba da budu uzimani na istom dobro određenom mestu u izlivu i ako je potrebno iz dovoda na postrojenje za prečišćavanje.

Treba primeniti dobru međunarodnu laboratorijsku praksu namenjenu smanjivanju degradacije uzoraka između zahvatnja i analize.

3. Najmanji godišnji broj uzoraka treba da bude određen prema veličini postrojenja za prečišćavanje i zahvatan u jednakim vremenskim razmacima tokom godine

- 2 000 do 9 999 E.S.	12 uzoraka tokom godine
	4 uzorka sledećih godina, ako se tokom prve godine pokaže da voda odgovara odredbama Direktive;
	ako jedan uzorak od četiri ne bude ispravan, u sledećoj godini se mora uzeti 12 uzoraka

- 10 000 do 49 999 E.S.	12 uzoraka
-------------------------	------------

- 50 000 E.S. i više	24 uzorka
----------------------	-----------

4. Smatraće se da prečišćena otpadna voda zadovoljava uslove ako uzorci otpadne vode, za svaki parametar posmatran posebno, odgovaraju zahtevima parametarskim vrednostima na sledeći način:

(a) najveći broj uzoraka za parametre navedene u Tabeli 1 i Članu 2 (7) za koje je dozvoljeno da ne odgovaraju propisanim vrednostima, izraženo u koncentraciji i/ili procentu smanjenja datim u Tabeli 1 i u Članu 2 (7), naveden je u Tabeli 3.

(b) za parametre u Tabeli 1 izražene u koncentracijama, uzorci koji ne odgovaraju propisanim vrednostima, uzeti pod normalnim radnim uslovima, ne smeju da odstupaju od parametarskih vrednosti za više od 100% za parametarske vrednosti u koncentracijama koje se odnose na ukupne suspendovane materije mogu biti prihvaćena odstupanja od 150%;

(c) za parametre navedene u Tabeli 2, godišnja srednja vrednost za svaki parametar treba da odgovara zahtevanim parametarskim vrednostima.

5. Esktremne vrednosti kvaliteta vode o kojoj je reč ne treba uzimati u razmatranje kad su one rezultat neuobičajenih prilika kao nprimer usled jake kiše.

APPENDIX

TABELA 1. Zahtevi za izlive iz gradskih postrojenja za prečišćavanje otpadne vode na koje se primenjuje Član 4 i 5 Direktive. Primenjuju se vrednosti koncentracije ili procenta smanjenja

Parametar	Koncentracija	Najmanji procenat smanjenja ¹	Referentna metoda merenja
Biohemijska potrošnja kiseonika (BPK ₅ na 20°C) bez nitrifikacije ²	25 mg/l O ₂	70 - 90 40 prema Članu 4 ⁽²⁾	Homogenizovan, nefiltrovan, nedekantovan uzorak. Određivanje rastovrenog kiseonika pre i posle 5 dana inkubacije na 20 ± 1°C, u potpunom mraku. Dodatak inhibitora nitrifikacije
Hemijska potrošnja kiseonika (HPK)	125 mg/l O ₂	75	Homogenizovan, nefiltrovan, nedekantovan uzorak. Kalijum dihromat
Ukupne suspendovane materije	35 mg/l ⁽³⁾ 35 prema Članu 4 ⁽²⁾ (više do 10 000 E.S.) 60 prema Članu 4 ⁽²⁾ (2000 do 10000 E.S.)	90 ⁽³⁾ 90 prema Članu 4 ⁽²⁾ (više od 10 000 E.S.) 70 prema Članu 4 ⁽²⁾ (2000 do 10000 E.S.)	- filtriranje reprezentativnog uzorka kroz membranski filter 0.45 µm. Sušenje na 105°C i vaganje - centrifugiranje reprezentativnog uzorka (najmanje 5 min sa srednjim ubrzanjem od 2 800 do 3 200 g). Sušenje na 105°C i vaganje

- (1) smanjenje u odnosu na opterećenje ulazne vode.
 (2) parametar može biti zamenjen nekim drugim: ukupan organski ugljenik (TOC) ili ukupna potrošnja kiseonika (TOD) ako se može uspostaviti zavisnost između BPK₅ i ovih parametara.
 (3) ovaj parametar je neobavezan.

Analize koje se odnose na izlive iz laguna treba vršiti na filtrovanim uzorcima; međutim, koncentracija ukupnih suspendovanih materija u nefiltrovanim uzorcima ne treba da premaši 150 mg/l.

TABELA 2. Zahtevi za izlive iz gradskih postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda u osetljive oblasti koje su podvrgnute eutrofizaciji, utvrđenim preko Dodatku II A (a). Jedan ili oba parametra mogu biti primenjeni, zavisno od mesnih uslova. Primenjuju se vrednosti koncentracija ili procenta smanjenja

Parametar	Koncentracija	Najmanji procenat smanjenja ⁽¹⁾	Referentna metoda merenja
Ukupan fosfor	2 mg/l P (10000 do 100000 E.S.) 1 mg/l P (više od 100000 E.S.)	80	Molekularna apsorpciona sprektrofotometrija
Ukupan azot ⁽⁴⁾	15 mg/l N (10000 do 100000 E.S.) 10 mg/l N (više od 100000 E.S.) ⁽⁵⁾	70 - 80	Molekularna apsorpciona spektrofotometrija

- (4) Ukupan azot: Zbir ukupnog Kjeldal-azota (organski N više NH₄), nitrati NO₃ - N i nitrit NO₂ - N
 (5) Alternativno, dnevna prosečna vrednost ne sme preći 20 mg/l N. Ovaj zahtev odnosi se na vodu sa temperaturom od 12°C ili više, tokom rada biološkog reaktora postrojenja za prečišćavanje otpadne vode. Kao zamena za uslov koji se odnosi na temperaturu, može se

primeniti ograničenje vremena rada, koje uzima u obzir regionalne klimatske uslove. Ova alternativa se može primeniti ako se može pokazati da je ispunjen stav 1 Dodatka ID.

TABELA 3.

BROJ UZORAKA uzetih tokom godine	MAKSIMALNI BROJ UZORAKA koji odstupaju od standarda
4 - 7	1
8 - 16	2
17 - 28	3
29 - 40	4
41 - 53	5
54 - 67	6
68 - 81	7
82 - 95	8
96 - 110	9
111 - 125	10
126 - 140	11
141 - 155	12
156 - 171	13
172 - 187	14
188 - 203	15
204 - 219	16
220 - 235	17
236 - 251	18
252 - 268	19
269 - 284	20
285 - 300	21
301 - 317	22
318 - 334	23
335 - 350	24
351 - 365	25

DODATAK II
MERILA ZA UTVRĐIVANJE OSETLJIVIH I MANJE OSETLJIVIH OBLASTI

A. OSETLJIVE OBLASTI

Jedna vodena sredina mora biti utvrđena kao osetljiva oblast ako spada u jednu od sledećih grupa:
a) prirodna slatkovodna jezera, druge slatkovodne sredine, estuarijumi i obalne vode koje su eutrofne ili koje u bliskoj budućnosti mogu postati eutrofne ako se ne preduzmu zaštitne delatnosti.

Sledeći elementi bi mogli biti uzeti u obzir u razmatranju koja hranljiva materija treba da budu umanjene u daljem prečišćavanju:

- jezera i tokovi koji dolaze do jezera (akumulacije), zatvoreni zalivi koji pokazuju slabu izmenu vode, gde može doći do nagomilavanja. U ovim oblastima uklanjanje fosfora treba da bude uključeno, izuzev ako može da bude pokazano da njegovo uklanjanje neće imati dejstvo na nivo eutrofizacije. Kad se voda ispušta iz velikih aglomeracija, uklanjanje azota može se takođe razmatrati;
- estuarijumi, zalivi, i druge obalne vode kod kojih je nađena slaba izmena vode, ili koji poprimaju znatne količine hranljivih sastojaka. Izlivi iz malih aglomeracija su malog značaja u tim oblastima, ali za velike aglomeracije uklanjanje fosfora i/ili azota treba da bude uključeno, izuzev ukoliko se može pokazati da njihovo uklanjanje neće imati dejstvo na nivo eutrofizacije.

b) površinske slatke vode namenjene dobijanju vode za piće koje bi mogle da sadrže, ako akcija nije preduzeta, koncentraciju nitrata veću od one postavljene odgovarajućim odredbama Direktive Saveta 75/440/EEC od 16. juna 1975. godine., koja se odnosi na kvalitet zahtevan za površinsku vodu namenjenu za dobijanje vode za piće u Zemljama članicama (OJ N° L 194, 25. 7. 1975., str. 26), i izmene direktivom 79/369/EEC (OJ N° L 279 29. 10. 1979., str. 44);

c) oblasti gde je prečišćavanje potpunije od onoga propisanog u Članu 4 ove Direktive neophodno da se ispune direktive Saveta.

B. MANJE OSETLJIVE OBLASTI

Masa morske vode ili obala može biti utvrđena kao manje osetljiva ako ispuštanje otpadne vode ne utiče nepovoljno na životnu sredinu kao rezultat morfologije, hidrologije ili specifičnih hidrauličkih uslova koji postoje u toj oblasti.

Kad se utvrđuju manje osetljive oblasti, Zemlje članice treba da uzmu u obzir rizik da ispušteno otperećenje može biti preneto u susedne oblasti gde može izazvati štetne uticaje na životnu sredinu. Zemlje članice treba da poznaju prisustvo osetljivih oblasti izvan njihove nacionalne uprave.

Sledeći elementi treba da budu uzeti u obzir pri utvrđivanju manje osetljivih oblasti:

otvoreni zalivi, estuarijumi i druge obalne vode sa dobrom izmenom vode, za koje se može smatrati da nisu izložene eutrofizaciji i smanjenju koncentracije kiseonika usled ispuštanja gradskih otpadnih voda.

ZAKLJUČAK

ZAKLJUČAK

Problematika odlaganja fekalnih materija, kao i prečišćavanja komunalnih otpadnih voda je sve veći problem urbanih sredina kod nas.

Malobrojna izgrađena postrojenja u Srbiji imaju čitav niz problema kao što su: uspostavljanja odgovarajućeg funkcionisanja, izmene opreme tokom projektovanja i izgradnje, nabavci rezervnih delova, servisiranju opreme, nabavci repromaterijala, formiranju odgovarajućih službi analitičke kontrole, nabavci savremene opreme za laboratorije i slično.

Stanje na postrojenjima u Srbiji je takvo da postoji više tehnoloških pravaca u rešavanju problematike prečišćavanja otpadnih voda, a ne samo razlike u postavljenim tehničkim rešenjima i opremi, što jako otežava bilo kakvu koordinaciju i objedinjavanje problematike na nivou Srbije.

U našoj praksi su zastupljeni mahom kompaktni sistemi, sa nekoliko varijanti tehničko-tehnoloških rešenja.

Tehnološka rešenja na postrojenjima su uobičajeno solidno postavljena, osim generalne primedbe da nedostaje tercijarna obrada na svim posećenim i opisanim postrojenjima.

Tehnički deo kod postrojenja, pre svega u vidu kvaliteteta ugrađene opreme, funkcionalnosti pojedinih delova opreme u realnim uslovima, kao i mogućnosti zamene uvozne opreme i delova domaćim, je mnogo više problematična.

U našoj praksi su prisutni i sistemi postrojenja sa lagunama, za koje smatramo da, usled različitih, napred detaljno obrazloženih problema u eksploataciji, ni po traženom kvalitetu, ni po kvantitetu, ne mogu zadovoljiti propisanu efikasnost prečišćavanja komunalnih otpadnih voda, za veliki broj naseljenih mestima u Srbiji, pa ni onih sa nižim ekvivalenatom stanovnika.

Usled prakse da se ne rade odgovarajuća analitička praćenja rada postrojenja, problemi koji nastaju na postrojenjima sa lagunama u eksploataciji su uobičajeno veći nego što se prikazuju. Posledice toga su da se ne mogu na potrebnom nivou i na vreme razrešavati problemi u radu, a takođe se ne mogu ni vršiti adekvatna poboljšanja i usavršavanja tehnoloških i tehničkih rešenja na postrojenjima sa lagunama.

Problematika otpadnog mulja sa postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda je kod nas značajno zanemarena u praksi, iako predstavlja veoma značajan problem u celom svetu.

Između 150 i 200 l na dan, koliko je prosečno hidrauličko opterećenje po ekvivalentnom stanovniku u Evropi danas, "proizvede" na postrojenjima za prečišćavanje otpadnih voda oko 5 l tečnog otpadnog mulja na dan. Za naselje kapaciteta 50 000 ES to iznosi 250 m³ na dan. Nedeljno to je zapremina jednog olimpijskog bazena.

Ova količina opominje da se problem tretmana otpadnog mulja sa postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda ne sme zaobilaziti, niti minimizirati i pokrivati nekim polurešenjima i pretpostavkama da će se za mulj prosto grabiti okolni poljoprivrednici.

Slično je sa tercijalnom obradom. Nije jasno usled čega je tercijalna obrada kod nas, pa čak i u slučajevima visoko kvalitetno isprojektovanih postrojenja, kao što je recimo slučaj sa postrojenjem "Cvetojevac" kod Kragujevca, zaobiđena.

Tercijalna obrada, makar nivoa korektivne obrade, ili pojedinačne dorade parametara, sve više dobija na značaju, obzirom na sve veći problem vodosnabdevanja na celoj planeti, pa i kod nas.

Ne samo da Srbija nije prebogata vodama, nego još i degradiramo svakodnevno i ono što imamo.

Tercijalna obrada mora imati svoje zasluženno mesto u svim razmatranjima prilikom projektovanja, pa makar bila i na postrojenju za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda malih kapaciteta.

Često se u našoj praksi problematika evakuacije efluenta u recipijent, preko obradivog zemljišta, i problematika navodnjavanja istog tog obradivog zemljišta, zasebno analiziraju i rešavaju.

Evakuacijom efluenta u recipijent, uz značajne materijalne troškove, opterećujemo recipijent određenim sadržajima zagađujućih materija, a istovremeno, uz još značajnije materijalne troškove, izvlačimo istu tu vodu iz recipijenta za navodnjavanje poljoprivrednih površina.

Voda se nepotrebno dva puta transportuje preko istih obradivih površina, čime se izuzima iz korišćenja deo obradivog zemljišta, a takođe se i značajno dupliraju direktni materijalni troškovi, koji predstavljaju sumu troškova evakuacije efluenta u recipijent i troškova zahvatanja vode za navodnjavanje poljoprivrednog zemljišta..

Stoga je neophodno problematiku voda na jednom području kompleksno sagledavati. Nije ni ekonomski, a ni ekološki, opravdano parcijalno rešavati evakuaciju prečišćenih otpadnih voda i navodnjavanje u poljoprivredi, kada se ova problematika preklapa na istom području.

Takođe, nije ni ekološki podobno ovakvo parcijalno sagledavanje, pošto se nepotrebno opterećuje recipijent otpadnom vodom, da bi se ona kasnije ponovo zahvatala iz recipijenta i vraćala za navodnjavanje obradivih površina, preko kojih je i prevedena do recipijenta.

Kada se sagleda problematika rada postojećih postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda kod nas, kao i problematika naselja bez postrojenja za prečišćavanje, može se izvesti zaključak da je neophodno pristupiti određenoj standardizaciji postrojenja za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda u Srbiji.

Predlažemo sledeća opredeljenja po pitanju odabira postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda:

- 1) postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda planirati i postavljati na principima sistema kompaktnih postrojenja
- 2) u okviru kompaktnih postrojenja opredeliti se za tehnologiju biološkog tretmana sa aktivnim muljem u bioaeracionim bazenima
- 3) radi unificiranja problematike, sve do hidrauličkog i organskog opterećenja nivoa od 30 000 ES opredeliti se za optimalnu tehnologiju za naše uslove, tehnologiju produžene aeracije
- 4) u okviru hidrauličkog i organskog opterećenja nivoa od 30 000 - 50 000 ES opredeliti se za optimalnu tehnologiju za naše uslove, tehnologiju aeracije sa potpunom ili delimičnom aerobnom stabilizacijom mulja
- 5) u okviru hidrauličkog i organskog opterećenja nivoa od preko 50 000 ES opredeliti se za optimalnu tehnologiju za naše uslove, tehnologiju aeracije sa potpunim mešanjem i anaerobnom obradom otpadnog mulja
- 6) postrojenja postavljati kao dve do tri paralelne linije, sa jedinstvenim ulaznim i izlaznim objektima i jedinstvenom opremom iz dela primarne i završne obrade otpadne vode
- 7) u svakom projektu obavezno treba razrešiti problematiku tretmana, skladištenja i konačnog odlaganja, odnosno upotrebe, otpadnog mulja sa postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda
- 8) težiti da rešenje tretmana mulja bude završnog nivoa na samom postrojenju, tako da se može direktno evakuisati i konačno odložiti sa samog postrojenja za tretman komunalnih otpadnih voda, bez značajnijih postupaka dorade van postrojenja
- 9) prilikom projektovanja uzeti u obzir specifičnost lokaliteta u delu klimatskih uticaja, kulture odlaganja otpada, uticaja kišne kanalizacije, problema sezonskih udara sa nanosom, problema sa enormnom količinom plivajućeg otpada i slično
- 10) prilikom projektovanja razmotriti mogućnosti iskorišćenja efluenta sa postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda u neposrednom okruženju (korišćenje efluenta za navodnjavanje, za ribnjake ...)

-
- 11) prilikom projektovanja predvideti maksimalno korišćenje sistema za automatsko praćanje i upravljanje radom postrojenja (sistemi tipa SCADA i slični)

Na zakonskom i normativnom planu treba usaglasiti zahteve i norme jugoslovenskih merila sa elementima Evropske unije.

Savet Evropske unije, preko usvojene Direktive Evropskog saveta iz 1991. godine, trebalo bi da bude i naše opredelenje, što bi u mnogome olakšalo eventualnu tipizaciju izgradnje uređaja za prečišćavanje otpadnih voda.

U ovoj publikaciji smo se trudili da prikazemo potreban pristup prilikom opredeljivanja za rešavanje problematike prečišćavanja komunalnih otpadnih voda.

Dali smo predlog tipizacije postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda prema hidrauličkom i organskom opterećenju, izraženom preko broja ekvivalentnih stanovnika, kao osnovu za svojevrsnu standardizaciju postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda u Srbiji.

Dali smo predlog tipizacije tehnologije u okviru navedenih tipiziranih postrojenja, pri čemu smo se maksimalno držali principa srodnosti i kompaktilnosti tehnologija na čitavom posmatranom prostoru, kako bi se postojeća postrojenja mogla uspešno graditi, proširivati po kapacitetu, ili adaptirati bez izmena suštine tehnološke postavke, odnosno bez zatvaranja starih postrojenja.

Naveli smo naše trenutno opredelenje za vitalne detalje tehničkih rešenja, bez namere da bilo koju tehniku forsiramo ili tipiziramo, ali napominjući da i tehnika u okviru srodnih postrojenja mora biti ako ne tipizirana, onda bar visoko kompatibilna.

Predstavili smo kompletne tehnološke i hidrauličke proračune za sva predložena tipizirana postrojenja, kao princip sagledavanja navedene problematike.

Ovakvim pristupom i predloženom postavkom ne znači da smo i "tipizirali" samo projektovanje, te ovaj rad ne treba shvatiti kao obavezu za korišćenje prilikom projektovanja, već uputsvo, odnosno usmeravanje prilikom projektovanja postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda.

Ovaj rad predstavlja doprinos početku vrlo ozbiljnih poslova koji predstoje na putu standardizacije postrojenja za prečišćavanje otpadnih voda u Srbiji, te ga tako treba i shvatiti.

Nadamo se da se na ovome neće stati, pošto namera autora nije bila da se dokazuje literarno, već da pokrene jedno veoma značajno pitanje našeg životnog okruženja, tako da smo ubeđeni da će se na ovom, vrlo značajnom segmentu zaštite životne sredine u Srbiji, nastaviti dalji ozbiljni koraci i dalja razrada i iznalaženje adekvatnih rešenja nagomilanih problema, a sve u opštem interesu svih stanovnika Srbije.

L I T E R A T U R A

LITERATURA

1. Babić Tomislav, Vojno građevinarstvo kanalizacija, Skripta za internu upotrebu, 1967
2. Beogradski vodovod i kanalizacija, Pravila za projektovanje spoljne kanalizacione mreže i objekata
3. Boreli Mladen, Hidraulika, Naučna knjiga, Beograd 1984
4. Cunge, J.A., Holly, F.M., Verwey, A. , Practical Aspects of Computational River Hydraulics, Pitman, London, 1980.
4. Ćuzović Dušan, Kanalizacija - tabele za hidraulički proračun kanalizacione mreže - priručnik, Beograd 1997
5. Davis, Sorensen, Handbook of Applied Hidraulics, Mc GRAW - HILL BOOK COMPANY, 1969
6. Degremont, Tehnika prečišćavanja voda, Građevinska knjiga, Beograd 1976.
7. Emde Wilhelm, Savremena primjena procesa sa aktivnim muljem u kondicioniranju otpadnih voda naselja i industrije, Građevinski fakultet univerziteta u Sarajevu, Sarajevo 1973.
8. Ernest W. Steel, Water Supply and Sewerage, Mc Graw - Hill Book Company 1960
9. Fair G.M., Geyer J.C., Okun D.A., Water and Waster-Water Engineering, Vol. 2, Water Purificationand Waste Water Treatment and Disposal, John Wiley and Sons, New York, 1968.
10. Федоров Н. Ф. НОВШЕ ИССЛЕДОВАНИЯ И ГИДРАВЛИЧЕСКИЕ РАСЧЕТЫ КАНАЛИЗАЦИОННЫХ СЕТЕЙ, Ленинград, Москва, 1964.
11. Федоров Н. Ф., Шифрин С. М. , КАНАЛИЗАЦИЯ, Москва, 1968.
12. Grupa autora, "Obrada otpadnih voda - knjiga I - Mehanički i fizičko-hemijski postupci, Savez hemičara i tehnologa Srbije, Beograd 1980.
13. Grupa autora, "Obrada otpadnih voda - knjiga II - Biološka obrada, Savez hemičara i tehnologa Srbije, Beograd 1979.
14. Grupa autora, Snabdevanje vodom i zaštita voda - komunalna vodoprivreda, Poljoprivredni fakultet univerziteta u Beogradu, 1989.
15. Grupa autora, Tehničar 6, Građevinska knjiga 1989
16. Ignjatović Lazar, Kompaktno postrojenje za mehaničku i biološku preradu otpadnih voda manjih aglomeracija stanovništvaDoktorska disertacija, Niš
17. Ignjatović Lazar, Mikrobiološke metode u preradi otpadnih voda - vodič kroz jedinične operacije, ECO-TECH , Niš 1995
18. Imhof Karl, Priručnik za kanalisanje gradova i prečišćavanje upotrebljenih voda, Izdanje komiteta za vodoprivredu NRS, Beograd 1950
19. Institut za vodoprivredu "Jaroslav Černi", Vodoprivredna osnova Srbije - nacrt 1996, Beograd 1996
20. Jahić B. M., Prečišćavanje zagađenih voda, D.P. "Prosveta", Novi Sad, 1990.
21. Jahić Munir, Prof., Priprema vode za piće, Novi Sad, 1990.
22. Komarčević Svetlana, Propisi o vodama SR Srbije - zbirka, Udruženje za tehnologiju vode, Beograd 1985
23. Korać V., Tehnologija vode za potrebe industrije, Udruženje za tehnologiju vode, Beograd, 1985.
24. Ljubisavljević D., Dimenzionisanje gravitacionih zgušnjivača, Voda i sanitarna tehnika br. I, Beograd, 1981.
25. Ljubisavljević D., Razdvajanje čvrste od tečne faze suspenzije gravitacijom, Voda i sanitarna tehnika br. VIII, Beograd, 1978.
26. Ljubisavljević Dejan, Đukuć Aleksandar, Babić Branislav, Prečišćavanje otpadnih voda, Građevinski fakultet univerziteta u Beogradu, Beograd 1995.

27. Metslaf and Eddy inc., Wastewater Engineering, Treatment Disposal, Reuse, McGraw-Hill, 1979.
28. Milenković Slobodan, Dr, Vodovod i kanalizacija zgrada, Niš, 1994
29. Milojević Miloje, Dr, Snabdevanje vodom i kanalisanje naselja, Građevinski fakultet univerziteta u Beogradu, Beograd, 1987
30. Milojević M., Daković S., Ljubisavljević D., Prečišćavanje industrijskih otpadnih voda I, Građevinski kalendar, Beograd, 1986.
31. Milojević M., Daković S., Ljubisavljević D., Prečišćavanje industrijskih otpadnih voda II, Građevinski kalendar, Beograd, 1987.
32. Milojević M., Daković S., Ljubisavljević D., Prečišćavanje industrijskih otpadnih voda III, Građevinski kalendar, Beograd, 1989.
33. Milojević M., Daković S., Ljubisavljević D., Prečišćavanje industrijskih otpadnih voda IV, Građevinski kalendar, Beograd, 1991.
34. Milojević M., Daković S., Ljubisavljević D., Prečišćavanje industrijskih otpadnih voda V, Građevinski kalendar, Beograd, 1993.
35. Milojević M., Ljubisavljević D., Dehidracija muljeva u vakuum-filtrima i filter presama, Voda i sanitarna tehnika br. I, Beograd, 1985.
36. Petrik Milivoj, Opskrb vodom i otpadna tvar, Medicinska knjiga, Beograd - Zagreb 1948
37. Preismann, A. (1961), Propagation des intumescences dans les canaux et rivières, Premier Congrès de l'Assoc. Française de Calcul. Grenoble, pp. 433 - 442
38. Ramzin S., Priručnik za komunalnu higijenu, Medicinska knjiga, Beograd-Zagreb, 1966.
39. Rekalčić V. Analiza zagađivača vode i vazduha, Tehnološko-metalurški fakultet univerziteta u Beogradu, Beograd, 1989
40. Republika Srbija, Beograd 1996, Prostorni plan Republike Srbije
41. Svi popisi stanovnika od 1948. godine do 1991. godine
42. Voronjec K. Obradović N. Mehanika fluida, Građevinska knjiga, Beograd 1960
43. Yen, B.C. (1986 A), Hydraulic of Sewers. Advances on Hydrosience, Vol. 14. Academic Press, New York.
44. Mary Gayman, A glimpse into London's Early sewrs (part I and part II), Claner Magazine
45. Mary Gayman, The Badd olde days, Claner Magazine
46. Frederique Krupa, Paris: Urban sanitation before the 20th century
47. Prof. Dr Georgije Hajdin., Merni objekti za određivanje proticaja u otvorenim tokovima, Građevinski fakultet univerziteta u Beogradu, Beograd, 1980
48. Шишкин З. Н., Карелин Я. А., Колобанов С. К., Яковлев С. В. КАНАЛИЗАЦИЯ - Москва, 1961.

Spisak firmi proizvođača tehnološke opreme čiji su tehnički prospekti korišćeni u izradi publikacije

1. - Passavant Werke AG
2. - Degremont
3. - Roediger
4. - Hafi Engineerin
5. - Krüger
6. - Noggerath
7. - Rochem
8. - Picatech AG
9. - Steinmann+ITTIG
10. - ABB Industrietechnik AG
11. - Saarberg Hölter
12. - ITT Industries comapany
13. - Flight
14. - Oswald Schulze Gmbh&Co.KG
15. - Alfa Laval
16. - Dr. Scholz und Partner GmbH
17. - O.T.V.
18. - Westfalia
19. - Unioninvest Sarajevo
20. - Ekovodoinženjering Beograd
22. - Sever Subotica
22. - 14. Oktobar Kruševac
23. - MIN Niš
24. - Jastrebac Niš

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

628. 2 / 3 (497 . 11)

PRERADA komunalnih otpadnih voda, tehnološko tehnički prikaz i kritički osvrt rada karakterističnih postojećih objekata, davanje optimalnog predloga sistema - objekata za preradu komunalnih otpadnih voda, sa aspekta zaštite voda, vazduha i zemljišta, naseljenih mesta Republike Srbije / [autori Pavle Babac ... et al.] . - Beograd : Ministarstvo zaštite životne sredine Republike Srbije, 1999 (Beograd : "Đorđević"). - 570 str. : ilustr. 25 cm

Podatak o autorima preuzet s prelim. str. - Tiraž 400. - Bibliografija str. 569-570.

1. Бабац, Павле

а) Отпадне воде - Пречишћавање б) Постројења за прераду отпадних вода - Србија с) Канализација - Србија

ID=76954124

