



Bosnia and Herzegovina
Federation of Bosnia and Herzegovina

CANTON SARAJEVO
Ministry of Physical Planning Construction and
Environmental Protection

Broj: 05-05-28145-52/19 III MG
Sarajevo, 23.08.2019. godine

SKUPŠTINA KANTONA SARAJEVO
n/r Elmedin Konaković, predsjedavajući
- ovdje -

PREDMET: Odgovor na zastupničko pitanje zastupnika Zvonka Marića

Zastupnik Zvonko Marić na Dvanaestoj radnoj sjednici Skupštine Kantona Sarajevo, održanoj dana 24.07.2019. godine, u okviru tačke Dnevnog reda „Poslanička/zastupnička pitanja, inicijative i odgovori“, u skladu sa članovima 211. i 214. Poslovnika Skupštine Kantona Sarajevo postavio je zastupničko pitanje:

“Molim da mi se dostavi Izvještaj o radu pilot postrojenja austrijske firme Envi Care Engineering GmbH, kao i rezultati monitoringa procjednih voda deponije Smiljevići, budući da je monitoring završen u skorije vrijeme i možda nije sastavljen cjelokupni izvještaj o tome, molim da mi se dostave rezultati mjesečnih mjerenja.”

ODGOVOR:

U prilogu dostavljamo traženi Izvještaj o radu pilot postrojenja austrijske firme Envi Care Engineering GmbH. U cilju odabira tehnologije tretmana procjednih voda sa deponije, u periodu april – august 2018. godine realizovana je nabavka, transport i rad pilot postrojenja na ispitivanju uspostave biološkog prečišćavanja procjednih voda. Kompanija EnviCare Engineering GmbH Austrija je postavila 25.04.2018. godine probno pilot postrojenje u cilju utvrđivanja potrebnog



web: <http://mpz.ks.gov.ba>
e-mail: mpz@mpz.ks.gov.ba
Tel: + 387 (0) 33 562-029,
Fax: + 387 (0) 33 562-031
Sarajevo, Reisa Džemaludina Čauševića 1



tretmana procjednih deponijskih voda. Postrojenje je bilo bazirano na principu membransko biološkog procesa, koji je obuhvatao taložnik, anaerobni dio sa mješalicom (denitrifikacija), MBR bazen sa muljem i aeracijom. Postrojenje je demontirano 16.08.2018.godine.

Što se tiče drugog dijela pitanja, trenutno nismo u mogućnosti dostaviti cjeloviti izvještaj o monitoringu procjednih voda. Dostavljanje pojedinačnih rezultata mjerenja takođe nije moguće, prije završetka svih aktivnosti na projektu, koje obuhvataju i praćenje realizacije monitoringa procjednih voda izabrane laboratorije.

Programom aktivnosti u okviru RCUO Smiljevići u 2019.godini planirano je da se okončani izvještaj o monitoringu procjednih voda pripremi do kraja septembra 2019.godine. Izvještaj će biti pripremljen na osnovu završenog monitoringa procjednih voda 2018/2019, te na osnovu ostalih aktivnosti koje su vezane za upravljanje filtratom iz tijela deponije i služiće kao osnova za pripremu mišljenja o narednim aktivnostima koje se odnose na upravljanje količinama i sastavom filtrata u sklopu RCUO Smiljevići.



MINISTAR

Damir Filipović, MA prava

Prilog: Izvještaj o radu pilot postrojenja

Dostaviti:

- Naslovu
- Vlada Kantona Sarajevo
- Evidencija
- a/a



web: <http://mpz.ks.gov.ba>
e-mail: mpz@mpz.ks.gov.ba
Tel: + 387 (0) 33 562-029,
Fax: + 387 (0) 33 562-031
Sarajevo, Reisa Džemaludina Čauševića 1



RCUO – SMILJEVIĆI

PILOT POSTROJENJE

FINALNI IZVJEŠTAJ O RADU PILOT POSTROJENJA NA TRETMANU PROCJEDNIH VODA NA SARAJEVSKOJ DEPONIJ

RADOVE IZVELA AUSTRIJSKA FIRMA EnviCare® Engineering GmbH

GRAC

Fuad Babić, dipl.građ.ing.

Izvještaj o ispitivanju i proširenju MBR-RO na deponiji Smiljevići-Sarajevo

/tekst na njemačkom jeziku/

office@envicare.at

www.envicare.at

/tekst na njemačkom jeziku/

Dokument: Sarajevo-T03_Final-Report_2018-10-05.docx

Broj stranica: 47

Grac, 24. oktobar, 2018. god.

1 Klijent

Ovaj Izvještaj o ispitivanju pripremljen je u ime

Ministarstva za prostorno uređenje, građenje i zaštitu okoliša Kantona Sarajevo

Reisa Džemaludina Čauševića 1

Sarajevo

Kojeg zastupa gđin. Čedomir Lukić, inženjer arhitekture

2 Sažetak

Deponija Smiljevići u blizini Sarajeva proizvodi oko 250 m³/d procjednih voda. Ove procjedne vode sadrže velike količine amonijaka (820 mg/L) i imaju visoku hemijsku potrošnju kisika (HPK = 2.200 mg/L), te je neophodno pronaći koncept tretmana kojim bi se zadovoljila oficijelna ograničenja oticanja u malu rijeku Smiljevići.

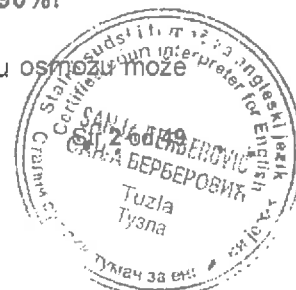
Ispitivanje pilot postrojenja na polu-tehničkoj razini je, s proceduralnog aspekta, vrlo važan instrument za ograničavanje i tehničkih i poduzetničkih rizika. Stoga je kompanija EnviCare® Engineering GmbH provela ispitivanje membranskog bioreaktora u periodu od 24. aprila do 17. avgusta 2018. na lokaciji deponije.

Ovaj izvještaj predstavlja rezultate pilot ispitivanja, koji su ugrađeni u koncept po mjeri za veliko postrojenje. Rezultati omogućavaju tačno dimenzioniranje bitnih komponenti postrojenja, procjena troškova je poboljšana, a troškovi ulaganja sada su značajno smanjeni za 23% u odnosu na procjenu troškova iz studije izvodljivosti od 23. januara 2017. godine.

Najprije želimo iskazati veliko "HVALA" za dobru saradnju svim osobama koje su učestvovalе u procesu, a posebno bismo željeli istaknuti prof. Amru Serdarević, Fuada Babića i Abida Mulaomerovića. Rad na lokaciji i hemijska analitika Dženite Žbanić i Dražena Sekulića obavljani su iznimno dobro i s velikom pažnjom. Sve je to doprinijelo uspjehu ovog pilot ispitivanja, što nije bio lak zadatak!

Važno je izraziti da postoje **tri glavna razloga za biološki predtretman procjednih voda deponije:**

1. Silicij (Si) i barij (Ba) prisutni su u procjednim vodama u velikoj mjeri i uzrokuju ozbiljno taloženje u modulima za reverznu osmozu. Tokom biološkog tretmana značajan dio opterećenja dijeljenja silicija i barija ugrađen je u biomasu te je stoga vjerovatnoća problema taloženja smanjena, a **stepen oporavka može se poboljšati sa 75% na 85 - 90%!**
2. Zbog smanjenja električne provodivosti, stopa oporavka u jedinici za reverznu osmozu može se značajno povećati.



Bez biološkog predtretmana, stopa oporavka bi bila mnogo niža i najmanje jedna četvrtina procjernih voda bi se trebala ponovno infiltrirati kao koncentrat u tijelo deponije, što bi dalje dovelo do povećanja ukupne količine procjernih voda. Pored toga, **ponovna infiltracija velikih količina koncentrata je tehnički teško izvediva.**

3. Biološki predtretman smanjuje amonijak na vrijednosti niže od 30 mg/l. Stoga više nije potrebno snižavati pH na vrijednosti $< 6,5$, a također je i neutralizator za procjerne vode znatno manji. Stoga će biti **potrebna mnogo manja količina dozirane kiseline**, a s manjom količinom koncentrata cjelokupni proces tretmana procjernih voda deponije biće mnogo pouzdaniji i isplativiji.

Na početku eksperimenta mulj iz postrojenja za tretman komunalnih otpadnih voda korišten je kao nataloženi mulj, ali nije sadržavao nitrificirajuće bakterije. Ove vrste bakterija rastu vrlo sporo i zbog toga je dotok dugo bio na niskoj razini (oko $0,3 \text{ m}^3/\text{d}$) kako bi se omogućio rast i adaptacija nitrificirajućih bakterija. Dotok se polako povećavao, uzimajući u svakom trenutku u obzir performanse biomase. Budući da očekivani rezultati nisu postignuti u prvobitno predviđenom razdoblju od tri mjeseca, ugovor za pilot fazu produžen je za još jedan mjesec (bez dodatnih troškova). Na kraju je dotok bio oko $5,6 \text{ m}^3/\text{d}$ s HPK (uključujući i vanjski izvor ugljika) od $21,8 \text{ kg/d}$ i opterećenjem amonijaka od $4,6 \text{ kg/d}$.

Volumen mulja i suha masa (ST) kao pokazatelji biomase u MBR bili su u stalnom porastu. Na kraju pilot testiranja ST je bila $15,7 \text{ g/L}$. U mikroskopskoj analizi u tipičnim flokulatima mulja i nekim višim vrstama (npr. *Vorticella convallaria*) bakterije se mogu primijetiti, ali se ne mogu naći slobodne plutajuće i pokretne više vrste. Toksični sastav procjernih voda svakako nije prosto okruženje.

Kako bi se povećao rast bakterija i postigla dostatna denitrifikacija, apsolutno je nužno dodavanje lako i brzo razgradivog vanjskog izvora ugljika (npr. acetatne kiseline ili metanola). Tokom posljednje faze pilot ispitivanja dodana je acetatna kiselina i uočeno je značajno povećanje učinkovitosti.

Budući da je koncentracija fosfora u procjernim vodama vrlo niska, treba dodati vanjski izvor fosfora. Dostatna opskrba mjeri se koncentracijom u odlivu iz MBR, koja ne smije biti niža od $10 \text{ mg PO}_4\text{-P/L}$. Pored toga, potrošnja fosfora ukazuje na rast biomase.

Tokom pilot ispitivanja postignuta je stopa nitrifikacije od 80%. Izvedba denitrifikacije tokom posljednje faze eksperimenta bila je samo oko 35% dotoka amonijaka. Za HPK je tokom zadnje faze postignuta razgradnja od 45%.

Rezultati pilot ispitivanja koriste se za projektiranje velikog postrojenja koje se sastoji od membranskog bioreaktora i jednostepene jedinice za reverznu osmozu za sekundarni tretman.

Glavna namjera je iskoristiti postojeće objekte što je više moguće kako bi se smanjili investicijski troškovi. Postojeći bazeni, raspršivači i nekoliko pumpi mogu se koristiti za biološki tretman sa samo nekoliko prilagodbi.

Uz biološki tretman značajno su poboljšani određeni parametri zaprljanja i taloženja, koji su obično ograničavajući za provedbu reverzne osmoze. Stoga će biti dovoljna jednostepena jedinica za reverznu osmozu i postići će se visoki stepen oporavka do 90%. Međutim, sistem reverzne osmoze s disk cijevima (DT) nudi značajne prednosti kod problema zaprljanja, taloženja i ukupne operativne stabilnosti u poređenju s konvencionalnim spiralnim sistemima, a koje se na kraju isplate kroz niže operativne troškove.

Kao alternativa modulu uronjenog membranskog modula u bioreaktoru membrane, vanjska tubularna membrana u kombinaciji s ejektorom za aeraciju mogla bi biti alternativno rješenje. Jedna od prednosti može biti manje problema sa začepljenjem membrana muljem, ali s druge strane bitno će se povećati

Priloga



potrošnja energije i tendencija pjenjenja. Balansirajući prednosti i nedostatke oba pristupa smatramo da je uronjeni sistem i dalje bolji izbor jer smatramo da je formiranje ovih vrlo posebnih fleksibilnih aglomeracija mulja bilo povezano s nepravilnim dodavanjem šećera kao izvora ugljika i da se ovaj efekat neće pojaviti ako se umjesto toga primjenjuje acetatna kiselina.

Ukratko, pilot ispitavanje je bilo uspješno i može se dokazati da je moguć biološki tretman procjednih voda koje sadrže neodređene toksične tvari. Za veliko postrojenje vmoguće je ponovno koristiti mnoge dijelove postojeće opreme uz minimalne investicijske troškove. Uz pažljivo rukovanje i održavanje, ograničenja otpadnih voda se sigurno mogu postići.

Murić



SADRŽAJ

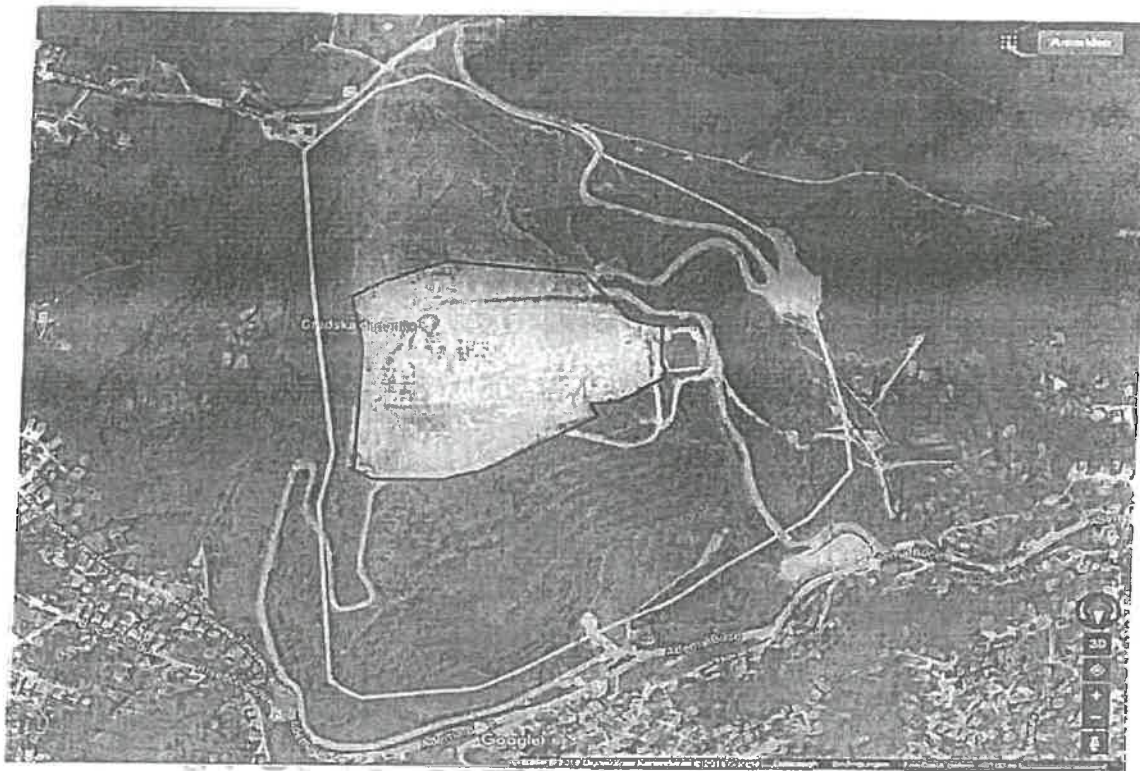
1	Klijent.....	2
2	Sažetak.....	2
3	Opis deponije Smiljevići	6
4	Pilot ispitivanje	7
4.1	Zadaci i ciljevi pilot ispitivanja	7
4.2	Kratak opis pilot postrojenja MBR	8
4.3	Izvedba i rezultati pilot postrojenja	11
4.4	Zaključci pilot ispitivanja	25
5	Koncept velikog postrojenja za tretman procjernih razmjera - MBR-RO.....	28
5.1	Dotok	28
5.2	MBR – Membranski bioreaktor.....	29
5.3	RO - Reverzna osmoza.....	37
5.4	Sažetak podataka o MBR-RO	40
6	Zaključci i preporuke	43
6.1	Ograničenje efluenta za nitrata.....	43
6.2	Taloženje	43
6.3	Ponovna infiltracija koncentrata.....	43
6.4	Opskrba električnom energijom.....	44
6.5	Stanje bazena	44
6.6	Logistika	44
7	Dodaci.....	45
7.1	Izveštaji analiza – CLUG	45
7.2	Schema MBR-RO	48

Smiljević



3 Opis deponije Smiljevići

Deponija u Regionalnom centru za upravljanje otpadom Smiljevići nalazi se na sjeveru Sarajeva.



Slika 1: Deponija iz ptičije perspektive (Google Maps, 18.09.2018). Žuta linija označava ukupnu površinu deponije, a crvena linija označava otvoreno područje za odlaganje otpada

Deponija je operativna već nekoliko desetljeća, a ukupna površina koja je korištena za odlaganje uglavnom kućnog otpada je oko 411.000 m². Na većem dijelu deponije (oko 338.000 m²) već su zasađene mladice, ili je površina pošumljena, dok otvoreni dio zauzima cca. 73.000 m².

Prosječna godišnja količina oborina¹ je oko 961 mm/a.

Kako bi se mogla procijeniti količina procjednih voda nastalih kao posljedica godišnjih oborina, predviđen je koeficijent infiltracije od 10% za pokriveno područje i 60% za otvoreno područje.

S tim pretpostavkama izračunata je prosječna godišnja količina procjednih voda od približno 204 m³/d.

¹ Srednja vrijednost preuzeta sa: <http://www.wetter-atlas.de/klima/europa/bosnien-herzegowina.php>

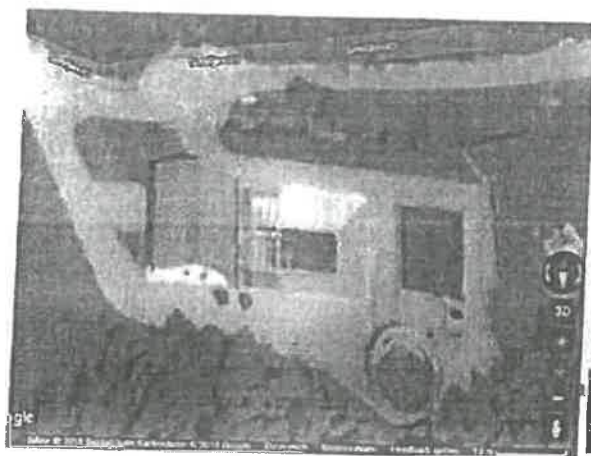
<https://www.wetter.de/klima/europa/bosnien-herzegowina/sarajevo-sl46540.html>

<https://de.climate-data.org/location/764500/#climate-graph>

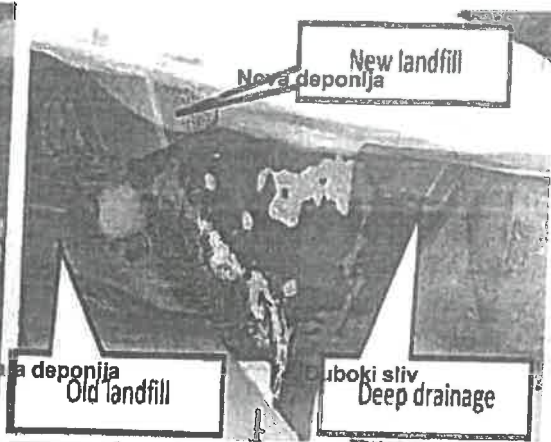
Sve stranice posjećene 18.09. 2018.

Primić





Slika 2: Pogled na neispravan uređaj za tretman procjednih voda (Google Maps, 18.09.2018)



Slika 3: Tok otpadnih voda

U poređenju s izmjerenim vrijednostima od 150 - 400 m³/d (vidi poglavlje 4.3.3, slika 13), teoretska količina je nešto niža, ali to je uzrokovano "trećom" strujom otpadne vode koja se naziva duboki sliv (slika 3), koji je, čini se, podzemna voda.

Procjedne vode deponije otiču u sjeverni potok Smiljevići bez prethodnog čišćenja.

U 2006. godini proveden je neuspješan pokušaj čišćenja procjednih voda uvođenjem MBR tretmana na bazi hidrofилnih PE membrana koje nisu permanentne. Ovo MBR postrojenje nije bilo uspješno zbog nepravilnog projektiranja i izvođenja, pa se procjedne vode i dalje ispuštaju u okoliš bez odgovarajućeg tretmana, što uzrokuje štetu flori i fauni zbog njihove visoke razine toksičnosti.

4 Pilot ispitivanje

4.1 Zadaci i ciljevi pilot ispitivanja

Ispitivanje pilot postrojenja na polu-tehničkoj razini je, s proceduralnog aspekta, vrlo važan instrument za ograničavanje i tehničkih i poduzetničkih rizika.

Nalazi iz ove faze ugrađeni su u koncept postrojenja velikih razmjera i omogućuju tačno dimenzioniranje bitnih komponenti postrojenja i stoga se poduzetnički rizik može na odgovarajući način smanjiti.

4.1.1 Neophodno je ispitati sljedeće aspekte:

- Definiranje vrste i širine rešetke za preliminarni pregled
- Biorazgradivost HPK i kapacitet denitrifikacije
- Stopa nitrifikacije
- Potreba za vanjskim izvorom ugljika
- Suha masa u MBR, konzistencija i karakteristike odvodnjavanja mulja
- Potreba za zrakom i kisikom za biološke procese i rad membrane
- Uticaj agensa koji određuju tvrdoću ili soli metala na propusnost, zaprljanje i taloženje u radu membrane
- Fluks i vrijednosti propusnosti korištene membrane
- Uticaj temperature na biologiju i rad membrane
- Napajanje energijom

Smiljevići



- Količina proizvedenog mulja
- Koncentracije emisija u filtratu
- Stvaranje pjene i kontrola pjene

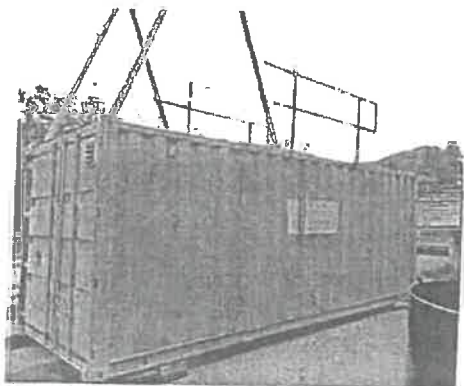
4.1.2 Analitika

Kako bi se procijenili gore navedeni aspekti, izvršene su sljedeće analize dotoka, biologije i filtrata:

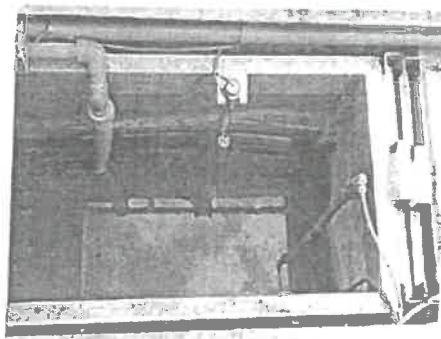
- On-line mjerenja u spremniku:
temperature, provodivosti, različite propusnosti, razine, koncentracije kisika, pritiska
- Off-line mjerenja u operativnom laboratoriju deponije: pH, HPK, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{PO}_4\text{-P}$, suha masa (ST), sposobnost filtriranja
- Off-line mjerenja u ovlaštenom vanjskom laboratoriju CLUG u Austriji: pH, provodivost, HPK, $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, N_{tot} , TOC, Cl, Ca, Si, Ba, Sr)
- mikroskopsko ispitivanje aktivnog mulja

4.2 Kratak opis pilot postrojenja MBR

Sistem spremnika uključuje spremnik za sedimentaciju, spremnik za denitrifikaciju i nitrifikaciju, spremnik za prikupljanje filtrata, spremnike za hemijska sredstva za čišćenje, neophodne pumpe, aggregate, armature i električni upravljački ormar zajedno s PLC kontrolom i zapisivačima podataka.



Slika 4: Pilot uređaj u spremniku



Slika 5: Područje za taloženje sa gustom žičanom rešetkom

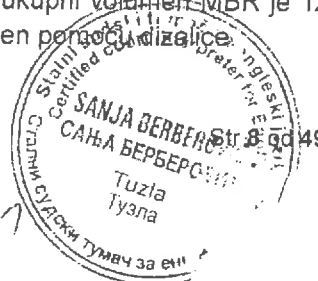
Sistem membranskog bioreaktora se napaja pomoću uronjene pumpe s kontrolom uranjanja (slika 14), koja dovodi efluent iz spremnika za neutralizaciju procjednih voda. Konusno područje ulaza služi kao bazen za taloženje primarnog mulja (slika 5). Ako je potrebno, nataloženi mulj se ispušta preko uronjene pumpe natrag u bazen za procjedne vode.

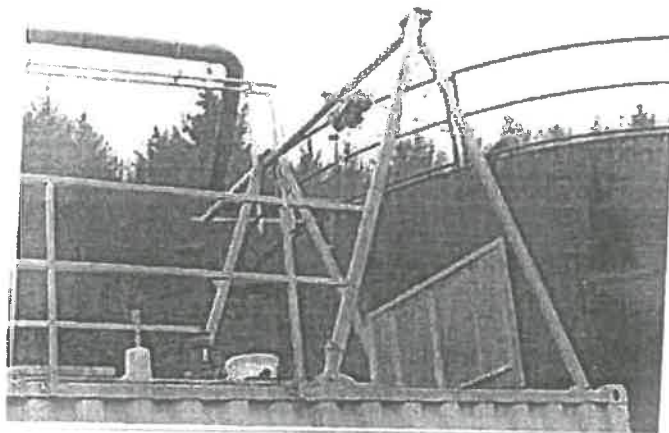
Kroz gustu rešetku sa mrežom širine od oko 0,5 mm otpadna voda odlazi do zone denitrifikacije (4 m^3), koja predstavlja neareairani dio gdje miješalica osigurava homogeno miješanje i opskrbu organizama nutrijentima. Alternativno se može ugraditi pregrada sa širinom mreže od 1,5 mm.

Rešetka se čisti pomoću kontroliranog zraka i rezultirajuće abrazije krutih čestica.

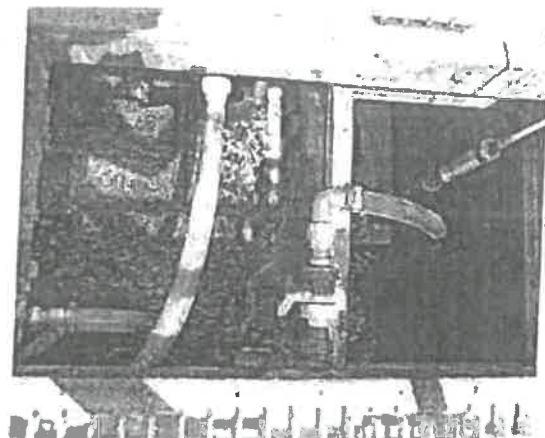
Spremnik za nitrifikaciju ili membranski bioreaktor ima volumen od 8 m^3 , ukupni volumen MBR je 12 m^3 . Membranski modul s površinom filtera od 200 m^2 može se podići u bazen pomoću dizalice.

Prilom





Slika 6: Dizalica za održavanje modula



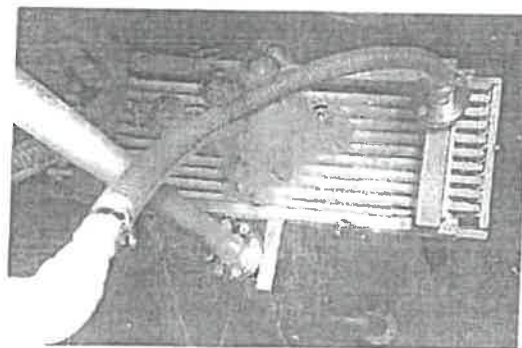
Slika 7: Membranski-bioreaktor (MBR): nitrifikacija (lijevo) i anoksična denitrifikacija (desno)

Instalirani mjerni uređaji bilježe sljedeće parametre: temperaturu, provodivost i sadržaj O_2 . Razina bazena se kontrolira s dva magnetska prekidača.

Pumpa s vakuumskim crijevom s frekvencijskim konverterom (podesivi protok od 250 - 2.000 L/h) postavlja se na stranu na kojoj je filtrat vakuumske usisne komore modula.

Recirkulacijska pumpa uronjena u spremnik za aeraciju istovremeno služi za uklanjanje viška mulja (vremenski kontrolirano).

Mjerač protoka je instaliran u dovodnoj cijevi za spremnik za filtriranje. Uzorak filtrata također je instaliran na ovom području. Ukupna propusnost sistema bilježi se pomoću brojača s magnetskim kontaktom.

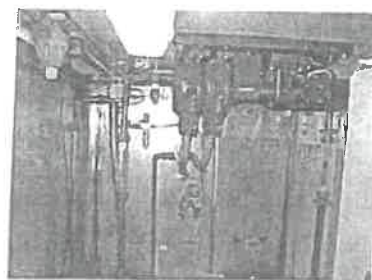


Slika 8: Membranski modul



Figure 10: Control panels and flow chart

Slika 9: Usisna pumpa i mjerni uređaji

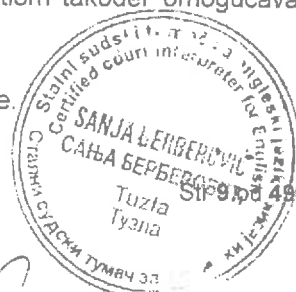


Slika 10: Kontrolne ploče i dijagram toka

Moguće je da će biti potrebne različite strategije čišćenja za održavanje performansi filtracije. One variraju od redovnih pauza filtracije i povratnog ispiranja hemijskim čišćenjem u spremniku za nitrifikaciju (CIP čišćenja – *clean in place*) do koraka vanjskog čišćenja (*clean on air*).

Pilot sistem je stoga opremljen funkcijom povratnog ispiranja, koja omogućava da se sredstvo za čišćenje, filtrati i zrak dopreme nasuprot filtracije. Pumpa za ispiranje s kotlom također omogućava ispiranje s prekidima.

Za vanjsko čišćenje ili održavanje moduli se podižu iz bazena pomoću dizalice.



Smiljevići

Unos kisika u aeriranu nitrifikaciju je opcionalno integriran u module preko ugrađenih pločastih aeratora i/ili preko zračnih cijevi. Kompresor prstena gasa koji kontrolira FC osigurava potreban usis zraka.

Kapacitet ovog pilot postrojenja je u rasponu od 3 -10 m³/d u zavisnosti od HPK i opterećenja amonijakom.

Osnovni tehnički podaci za konstrukciju spremnika dati su u Tabeli 1, a za podaci za membranske module od šupljih vlakana u Tabeli 2.

Tabela 1: Osnovni tehnički podaci za MBR pilot postrojenje

Ukupni volumen spremnika (biologija)	12 m ³
Volumen sedimentacijskog spremnika	1,3 m ³
Volumen spremnika za denitrifikaciju	4 m ³
Volumen spremnika za nitrifikaciju	8 m ³
Dimenzije spremnika (DxŠxV)	6,1 m x 2,5 m x 2,4 m
Maksimalni protok zraka	90 m ³ /h
Operativni pritisak	-0,1 do -0,4 bar
Maksimalna stopa protoka	1,6 m ³ /h
Očekivana stopa protoka	3-10 m ³ /d
Potrošnja zraka za membransku aeraciju	50 m ³ /h
Prosječna potrošnja energije	2,5 kWh/m ³

Tabela 2: Tehnički podaci za membranski modul od šupljih vlakana

Broj modula	1
Efektivno područje membranje/modula	200 m ² do 19. jula 100 m ² poslije 19. jula
Materijal membrane	PVDF
Veličina pora	0,05 µm
Materija za izradu kućišta	Nehrđajući čelik
Dimenzije modula (DxŠxV)	670 mm x 1,520 mm x 1,632 mm



Sanja Berberović

4.3 Izvedba i rezultati pilot postrojenja

4.3.1 Hronologija

4.3.1.1 Instalacija

Pilot postrojenje instalirano je između 24. i 27. aprila 201. godine. Oko 2,5 m³ mulja iz postrojenja za pročišćavanje komunalnih otpadnih voda Sarajeva filtrirano je i upumpano u MBR bazen. Preostali obim napunjen je oborinom iz bazena.

4.3.1.2 Rad postrojenja

Pilot postrojenjem na deponiji upravljali su Dženita Žbanić i Dražen Sekulić. Gospođa Žbanić je vršila hemijske analize u laboratorijama i *offline* mjerenja parametara izravno u postrojenju. Dražen Sekulić se brinuo za tehničku opremu, a od 6. avgusta do kraja pilot faze radio je u laboratoriju umjesto gospođe Žbanić.

Rad na lokaciji obavljen je vrlo dobro i pažljivo.

Analitički rezultati pouzdani su i vjerodostojniji od onih iz drugih do sada ugovorenih laboratorija. Ovu činjenicu dokazali su analitički rezultati renomiranog austrijskog laboratorija (vidi Dodatak 7.1).

4.3.1.3 Posjete na lokaciji

Od 17. do 18. maja Teresa Garstenauer bila je u posjeti MBR pilot postrojenju. Uzeti su uzorci, napravljene su analize, provjeren je rad postrojenja i razrađen je i evaluiran plan daljnjeg pokretanja.

Od 13. do 14. juna Bernhard Mayr i Teresa Garstenauer posjetili su MBR pilot postrojenje. Opet su uzeti uzorci, napravljene su hemijske i mikroskopske analize i raspravljen je daljnji postupak pokretanja.

Dana 18. jula, tehničko osoblje iz EnviCare® posjetilo je postrojenje kako bi očistilo i prilagodilo membranski modul, jer je visok i stalan porast filtracijskog pritiska zahtijevao brzu reakciju. Membranski modul bio je blokiran nakupinama mulja nastalim izravno u MBR bazenu. To znači da se elastične agregacije nisu uvele s procjedinim vodama kroz rešetku, već su se formirale tokom bioloških procesa.

4.3.1.4 Deinstalacija

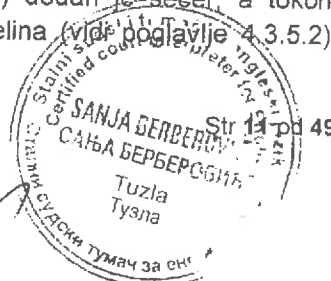
Pilot postrojenje je deinstalirano i uklonjeno s odlagališta 17. avgusta. Posljednji uzorci uzeti su i odneseni u Austriju na osnovnu analizu u pogledu konstrukcije jedinice za reverznu osmozu s obzirom na moguće taloženje određenih sastojaka.

4.3.2 Plan pokretanja i razvoj

Budući da očekivani rezultati nisu postignuti u prvobitno predviđenom vremenu od tri mjeseca, ugovor za pilot fazu produžen je za jedan mjesec od kraja jula do kraja avgusta. Glavni razlozi su bili:

- procjena učinka acetatne kiseline umjesto konvencionalnog šećera kao izvora ugljika
- daljnje povećanje sadržaja biomase i
- poboljšanje stope denitrifikacije

Slika 11 prikazuje sadržaj suhe mase i HPK opterećenje uključujući vanjski izvor ugljika (šećer, acetatna kiselina nakon 26.7.). Koncentracija HPK u dotoku bila je više ili manje stabilna tokom eksperimenta. Stoga je željeno opterećenje HPK bilo lako prilagoditi. Opterećenje HPK je povećano nakon rasta biomase. Nekoliko slučajeva dostizanja maksimalnih vrijednosti u opterećenju HPK posljedica je dodavanja vanjskog izvora ugljika. Prije 89. dana (23.7.) dodan je šećer, a tokom posljednjih 20 dana kao vanjski izvor ugljika korištena je acetatna kiselina (vidi poglavlje 4.3.5.2).



[Handwritten signature]

Uključivanjem vanjskog izvora ugljika, planirano opterećenje HPK bilo je premašeno tokom posljednjih dana pilot faze.

Biomasa nije rasla očekivanom brzinom. Maksimalna izmjerena suha masa na kraju je iznosila je 15,7 g/L. Treba uzeti u obzir da je sadržaj soli u filtratu veoma visok (oko 8,2 mS/cm) i doprinosi sa 6,6 g/L (vrijednost suhe mase u filtratu) ukupnoj suhoj masi. Stoga je cilj od 16 g/L postignut tek na kraju pilot faze.



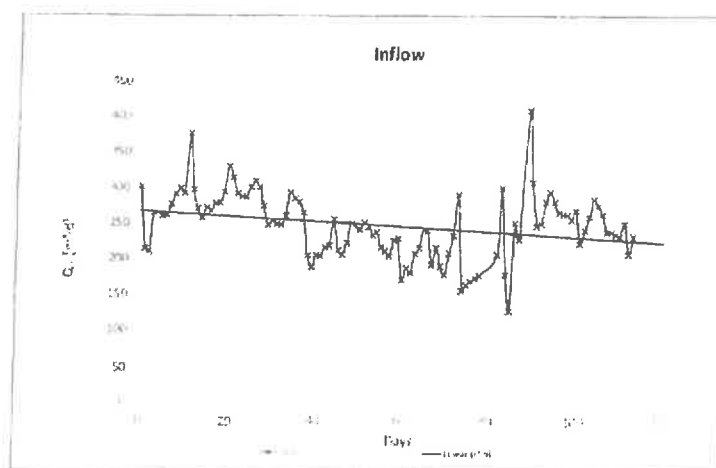
Slika 11: Plan pokretanja i stvarni razvoj

Ukratko, rast biomase s ovom vrstom procjednih voda je vrlo spor. To se mora uzeti u obzir pri pokretanju velikog postrojenja. Pored toga, opterećenje HPK mora biti prilagođeno raspoloživoj biomasi.

Spor rast i sklonost mulja da formira vrlo male i slobodno plutajuće cjeline ukazuje da se konvencionalni biološki tretman koja se zasniva na sedimentaciji neće moći primijeniti za čišćenje ovih procjednih voda. Ako mikroorganizmi nisu zadržani u aeriranom bazenu pomoću ultrafiltracije, oni će neprestano isticati iz sistema, i biomasa se neće akumulirati jer je neophodna za stabilan biološki proces.

4.3.3 Efluenti deponije = dotok u MBR sistem

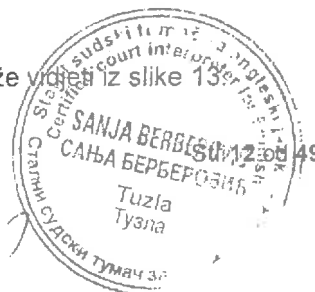
Općenito, dotok pokazuje stabilna svojstva (slika 12 i slika 13). Blagi pad količine odnosi se na manje količine oborina.



Slika 12: Dotok

Provodivost je indirektno povezana s količinom procjednih voda, što se može vidjeti iz slike 13.

Handwritten signature



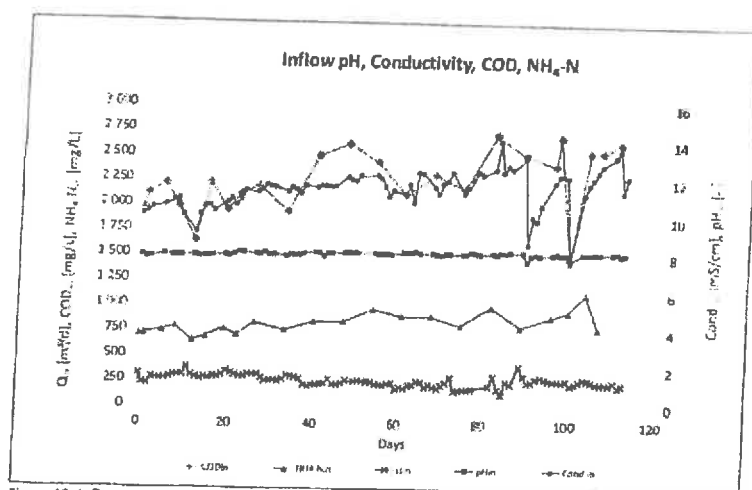


Figure 13: Inflow properties

Slika 13: Svojstva dotoka

Isti blagi porast koncentracija u toku datog vremenskog razdoblja može se uočiti za sve parametre dotoka osim za pH.

Zbog stabilnih svojstava dotoka tokom datog vremenskog razdoblja, vrlo je jednostavno prilagoditi opterećenja na postrojenju za tretman i upravljati stabilnim postrojenjem.

Mjerenje protoka dotoka (slika 15) u bazen ne funkcioniše ispravno, a jednostavan način mjerenja količine s posudama je neprikladan. Preporučuje se ugradnja mjerne jedinice tipa Venturi koja se odnosi na smjernice.

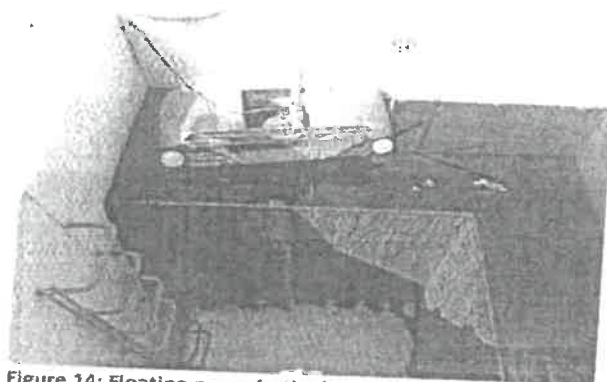


Figure 14: Floating pump in the leachate overflow chamber

Slika 14: Plutajuća pumpa u komori za prelivanje procjednih voda

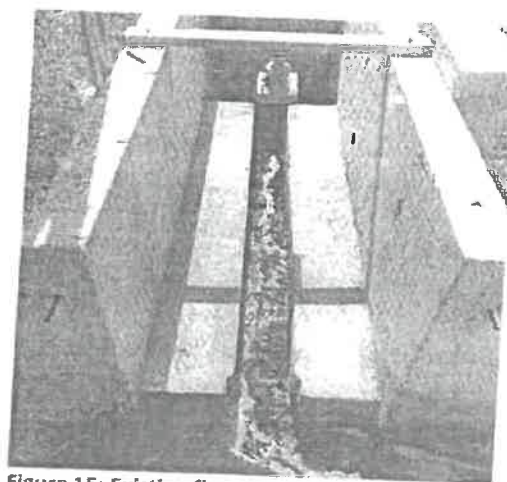


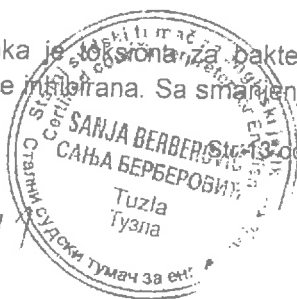
Figure 15: Existing flow measurement

Slika 15: Postojeće mjerenje protoka

4.3.4 Filtrat: temperatura, pH i amonijak

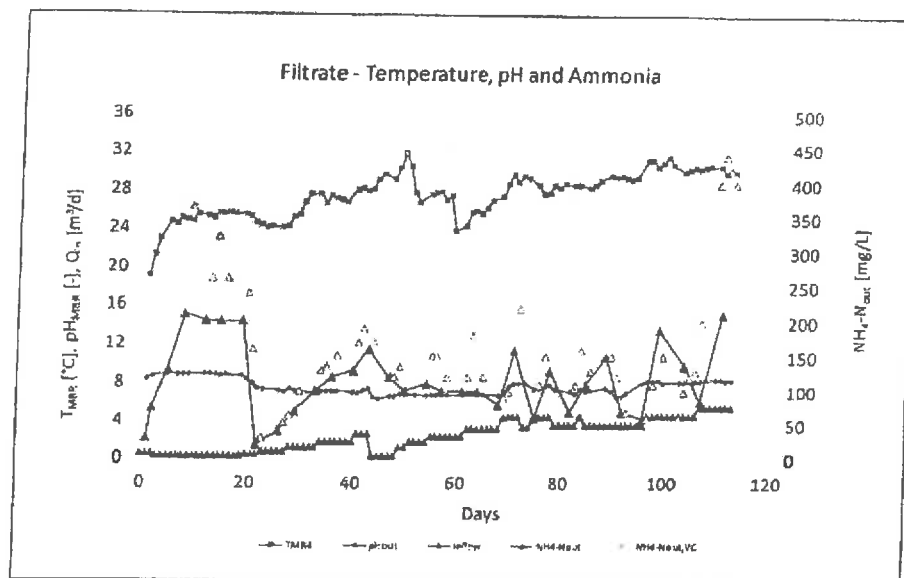
Biološka aktivnost, mehanička snaga pumpi i raspršivača, te sunčevo zračenje uzrokuju povećanje temperature u sistemu za tretman. Nitrificirajuće bakterije posebno pokazuju smanjene performanse pri temperaturama višim od 35°C.

Visoka pH vrijednost u kombinaciji s visokom koncentracijom amonijaka je toksična za bakterije. Tokom prvih 20 dana pilot faze pH je bio 8,9, i oksidacija amonijaka bila je inhibirana. Sa smanjenjem



Minut

pH vrijednosti, razgradnja amonijaka počela je rasti od 20.-tog dana. Amonijak je mjereno fotometrijski i dodatno vizuelnim komparatorom. Na slici 16 može se vidjeti da su rezultati dobijeni vizuelnim komparatorom uvijek nešto viši od onih mjenjenih uz pomoć fotometra.



Slika 16: Filtrat: temperatura, pH, amonijak i dotok

Da sumiramo, pH i amonijak su vrlo važni ključni pokazatelji za rad sistema za biološki tretman procjednih voda i uvijek ih treba pažljivo pratiti. Visok pH i visoka koncentracija amonijaka, kao i nizak pH u kombinaciji s visokom koncentracijom nitrita mogu biti toksični za biomasu. Temperaturu uvijek treba održavati ispod 35°C. Stoga je za veliko postrojenje potreban vanjski sistem hlađenja.

4.3.5 Nitrogen

Nitrifikacija i denitrifikacija predstavljaju najveći problem u ovom načinu biološkog tretmana procjednih voda. S jedne strane amonijak u dotoku je prilično visok, a s druge strane, bakterije za razgradnju nitrogena rastu vrlo sporo. Pored toga, denitrificirajuće bakterije trebaju lako razgradivi izvor ugljika u dotoku. Ugljikovi spojevi s deponije obično se ne mogu lako razgraditi. Stoga je dodavanje vanjskog izvora ugljika (npr. acetatne kiseline) neophodno za redukciju nitrata ili nitrita.

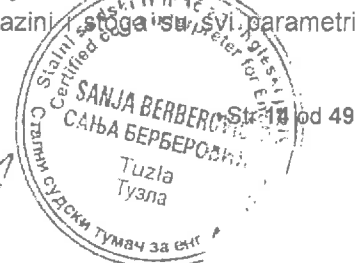
Na početku eksperimenta mulj iz postrojenja za tretman komunalnih otpadnih voda korišten je kao nataloženi mulj, ali nije sadržavao nitrificirajuće bakterije. Ove vrste bakterija rastu vrlo sporo i zbog toga je dotok dugo bio održavan na niskoj razini (oko 0,3 m³/d) kako bi se omogućio rast i adaptacija nitrificirajućih bakterija. Cijeli je proces trajao otprilike 3 sedmice duže od očekivanog perioda.

4.3.5.1 Analiza i poteškoće u analizi

Tokom pilot faze otkriveno je da postoje nepoznate smetnje u fotometrijskom mjerenju nitrata i nitrita. Nadalje, uočene su razlike, neobjašnjive fluktuacije i nedosljedni bilansi mase (posebno za $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$, N_{total}) u rezultatima vanjskih laboratorija. Rezultati iz laboratorija na deponiji i austrijskog laboratorija (Dodatak 7.1.) prihvatljivi su po pitanju bilansi mase. O tome je diskutovano i u oba privremena izvještaja (Sarajevo-T01_Interim-Report_2018-05-22.pdf and Sarajevo-T02_Interim-Report_2018-07-27_final.pdf).

Za uspješno funkcioniranje velikog postrojenja i minimiziranje problema koji nastaju usljed toksičnih uslova za biomasu, apsolutno su neophodna pouzdana mjerenja ključnih parametara. U ovom konkretnom slučaju opterećenje nitrogenom u deponiji je na visokoj razini i stoga su svi parametri

Amir



nitrogena ključni parametri za rad. Neophodno je uvijek vršiti provjeru rezultata mjerenja bilansa i fluktuacije mase.

4.3.5.2 Izvor ugljika

Denitrificirajućim mikroorganizmima je potreban lako i brzo razgradiv izvor ugljika za proces anoksične denitrifikacije.

4.3.5.2.1 Šećer

U prvoj fazi pilot ispitivanja dodan je šećer kao dodatni izvor ugljika kako bi se nakupila biomasa i smanjila količina nitrata/nitrita. Umjesto acetatne kiseline, koja u datom trenutku nije bila dostupna, korišten je šećer. Nažalost, smanjenje nitrata/nitrita sa šećerom nije dalo očekivane rezultate. Bakterije mogu razgraditi šećer, ali je očito trebalo predugo za uspješnu denitrifikaciju. Takođe, kao neželjena nuspojava moguće je da se šećer nije u potpunosti razgradio i zajedno s postojećim organskim spojevima iz dotoka (huminskim tvarima) s vremenom se razvio u glomazni, "masni", gumi sličan mulj. Ova masa je značajno ometala učinak filtriranja.

Kao što je ovaj primjer pokazao, očito je da se šećer ne može koristiti kao izvor ugljika.

4.3.5.2.2 Acetatna kiselina

U posljednjoj fazi pilot ispitivanja (od 26. jula do 15. avgusta = 20 dana) kao vanjski izvor ugljika korištena je acetatna kiselina (80%). Denitrificirajuće bakterije vrlo brzo i lako razrađuju acetatnu kiselinu. U prosjeku je dodano oko 1.100 mg/L_{dotoka} pomoću pumpe za doziranje.

Učinak se mogao vidjeti u rezultatima gotovo odmah. Ukupni učinci na stope razgradnje nitrogena i HPK i rezultati opisani su u sljedećem poglavlju 4.3.6.

4.3.6 Stope razgradnje

Kako bi se odredila razgradnja amonijaka i HPK, izračunate su prosječne stope razgradnje u [%] tokom 5 dana kako bi se uzelo u obzir hidrauličko vrijeme zadržavanja i promjene u koncentracijama dotoka. Treba napomenuti da je za izračun provedena interpolacija vrijednosti između izmjerenih vrijednosti.

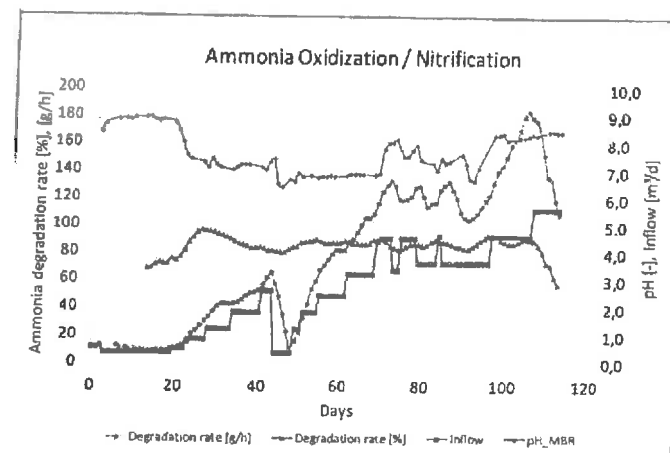
4.3.6.1 Spojevi nitrogena

Za razgradnju spojeva nitrogena neophodni su procesi nitrifikacije ($\text{NH}_4\text{-N} \Rightarrow \text{NO}_3\text{-N}$) i denitrifikacije ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{BPK} \Rightarrow \text{CO}_2 + \text{N}_2$). Glavni spoj nitrogena u procjednim vodama je amonijak ($\text{NH}_4\text{-N}$). Oksidirani oblici poput nitrata ili nitrita rijetko su prisutni jer je tijelo deponije strogo anaerobno. Stoga je primarni cilj smanjiti količinu amonijaka u procjednim vodama.

4.3.6.1.1 Nitrifikacija

Stepen oksidacije amonijaka (= nitrifikacija) bio je visok tokom pilot ispitivanja, većinom iznad 80%. Za potrebe analiza izračunato je opterećenje razgradnje kao prosjek prethodnih 5 dana u [g/h]. Povećano opterećenje razgradnje, kao što se može vidjeti na slici 17, predstavlja stalni porast izvedbe oksidacije biomase u MBR. Maksimalna postignuta razgradnja iznosila je oko 180 g $\text{NH}_4\text{-N/h}$ ili 28 g/(d.kg_{ST}). Tokom posljednje faze pilot ispitivanja performanse su se ponovo smanjivale. Moguće objašnjenje je relativno brzo povećanje količine dotoka u kombinaciji s višim pH vrijednostima.


Stalni sudski tumač za engleski jezik
Certified court interpreter for English
SANJA BERBEROVIĆ
САЊА БЕРБЕРОВИЋ
Tuzla
Тузла
15 od 49



Slika 17: Razgradnja amonijaka

Sredinom pilot ispitivanja stepen oksidacije $\text{NH}_4\text{-N}$ premašio je čak 90%.

Sljedeća tabela prikazuje bilans mase za pilot fazu. Ukupna redukcija $\text{NH}_4\text{-N}$ je 85%, 1% je uračunato u biomasi i oko 84% je oksidirano.

Tabela 3: Bilans mase $\text{NH}_4\text{-N}$ - pilot ispitivanje (cijelo razdoblje ispitivanja)

	[kg]	[%]
Ukupno u	256	100
Procjedne vode	247	97
Gnojivo	9	3
Odliv	40	16
Skladištenje SM	2,8	1
Oksidizirani $\text{NH}_4\text{-N}$	216	84

4.3.6.1.2 Denitrifikacija

Denitrificirajuće bakterije trebaju anoksičnu okolinu i lako razgrade spojeve ugljika kako bi se nitrat/nitrit smanjio na atmosferski nitrogen.

U početku je sadržaj kisika u denitrifikacijskom spremniku bio previsok (vid poglavlje 4.3.7). Nadalje, primarni izvor ugljika - šećer - nije dao očekivane rezultate (vidi poglavlje 4.3.5.2). Stoga su iz posljednje faze pilot ispitivanja dobiveni sljedeći podaci, kada je dodana acetatna kiselina. Zbog kratkog vremenskog razdoblja nije bilo moguće optimizirati performanse, ali će se vjerovatno postići bolji rezultati sa dužim periodom operiranja.

Tabela 4: Izvedba denitrifikacije (od 93. do 112. dana)

	Proces	[kg]	% Dotok
Dotok	$\text{NH}_4\text{-N}$ ulazni	90	100%
Nitrifikacija	$\text{NH}_4\text{-N}$ oksidiziran u $\text{NO}_3\text{-N}/\text{NO}_2\text{-N}$	73	81%
Denitrifikacija	$\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}$ reduciran na N_2	42	46%
Odliv	$\text{NO}_3\text{-N} + \text{NO}_2\text{-N}$ izlazni	31	35%
	$\text{NH}_4\text{-N}$ izlazni	18	19%

Stepen denitrifikacije je oko 46% dotoka amonijaka i 57% proizvedenog nitrata/nitrita.

Sanja Berberović



4.3.6.2 Spojevi ugljika

HPK (= hemijska potrošnja kisika) je sumarni parametar za ugljikove spojeve općenito.

U sljedećem dijagramu stepen razgradnje u [%] i razgrađeno opterećenje [g/h] uvijek su izračunavani kao prosječna vrijednost prethodnih 5 dana kako bi se uzele u obzir male varijacije u mjerenjima i hidrauličko vrijeme zadržavanja.

Redukcija HPK bila je niska u prvoj fazi pilot ispitivanja, gdje je dodan šećer kao dodatni izvor ugljika. Ne postoji pouzdano objašnjenje za maksimalnu vrijednost postignutu oko 50.-og dana. Možda su fotometrijska mjerenja HPK bila pod uticajem jake boje tekućina, što rezultira varijacijama u mjerenjima i možda podcjenjivanjem stvarne degradacije. Međutim, značajno povećanje performansi, posebno mjereno u [g/h], može se vidjeti počevši od 92.-og dana (doziranje acetatne kiseline).

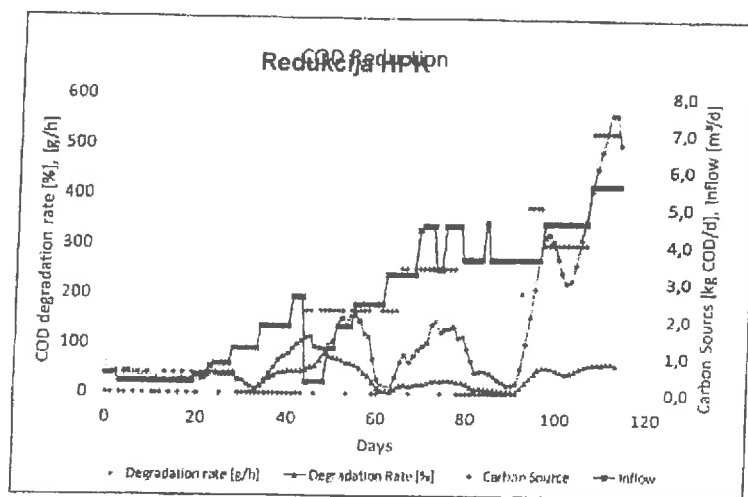


Figure 18: COD degradation

Slika 18: Razgrađivanje HPK

Sljedeća tabela prikazuje bilans mase za pilot fazu. Ukupna redukcija HPK je 39%, 9% je uključeno u biomasu i oko 30% je oksidirano.

Tabela 5: Bilans mase HPK - pilot ispitivanje

	[kg]	[%]
Ukupno u	859	100
Procjedne vode	670	78
Acetatna kiselina/šećer	189	22
Odliv	528	61
Pohrana SM	80	9
Oksidirana HPK	251	29

Tokom posljednje faze pilot ispitivanja performanse su se značajno povećale. Bilans mase (Tabela 6) pokazuje da je redukcija HPK u posljednjih 20 dana bila 56%, od čega je 11% uključeno u biomasu, a 45% je oksidirano.

Sanja Berberović



Tabela 6: Bilans mase HPK – posljednjih 20 dana

	[kg]	[%]
Ukupno u	337	100
Procjedne vode	231	69
Acetatna kiselina	105	31
Odliv	151	45
Pohrana SM	35	11
Oksidirana HPK	150	45

Parametar HPK se mjeri fotometrijski i na mjerenje stoga mogu uticati i druge komponente u procjednim vodama. Mogućnost provjere valjanosti mjerenja podrazumijeva analizu parametra UOU (= ukupni organski ugljik), na koji ne utiču druge komponente. Teoretski omjer je HPK:UOU= 2,7:1. Tabela u nastavku prikazuje rezultate analize iz austrijskog laboratorija CLUG (uporedite Dodatak 0).

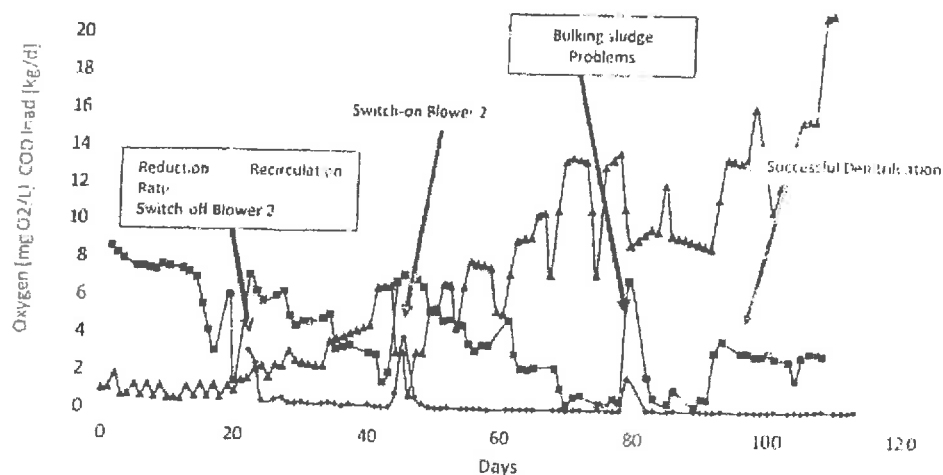
Tabela 7: Omjer HPK:UOU

	HPK [mg/L]	UOU [mg/L]	HPK : UOU
Dotok	2.540	1.040	2,4
Filtrat	1.590	608	2,6

Stoga se može zaključiti da su fotometrijska mjerenja HPK pouzdana.

4.3.7 Kisik

Za nitrifikaciju i razgradnju HPK obavezan je otopljeni kisik (= aerobna okolina). Tokom pilot faze opaženo je smanjenje otopljenog kisika s povećanjem biomase (Slika 19). Budući da je online sonda u MBR bila redovno pokrivena muljem, bilo je potrebno redovno čišćenje i ručno referentno mjerenje. Za proces denitrifikacije neophodni su anoksični uslovi. U prvoj fazi do 20.-og dana sadržaj kisika u denitrifikacijskom spremniku bio je previsok. Stoga je recirkulacija smanjena i jedan raspršivač je bio isključen. Maskimalne vrijednosti dostignute na 79.-ti dan rezultat su problema s membranom. Prije doziranja acetatne kiseline, sav otopljeni kisik korišten je za razgradnju ugljikovih spojeva i nitrifikaciju. S početkom uspješne denitrifikacije (oko 93. dana) mikroorganizmi su počeli koristiti nitratni kisik za razgradnju acetatne kiseline i drugih lako razgradivih spojeva ugljika. Zbog toga je utrošeno manje otopljenog kisika i sadržaj se ponovno povećao na 3 mg/l, što se može vidjeti na slici 19.



Slika 19: Kisik

Sanja Berberović

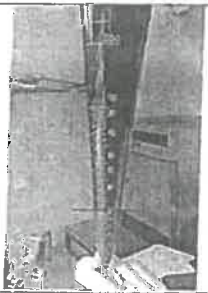
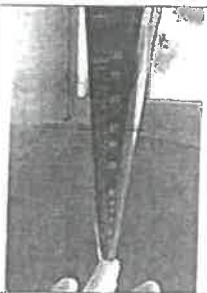


Ukratko, za uspješnu denitrifikaciju neophodni su anoksični uslovi u bazenu za denitrifikaciju. Kapacitet raspršivača i stopa protoka recirkulacije moraju se tome prilagoditi. Online mjerne sonde mogu biti prekrivene muljem i stoga su neophodna redovna čišćenja i ručna referentna mjerenja.

4.3.8 Karakteristike mulja

Slike u nastavku prikazuju nataloženi mulj u Imhoffovom lijevku. Može se jasno uočiti povećanje količine mulja tokom vremena. Na kraju pilot ispitivanja, 16. avgusta, sadržaj SM bio je 15,7 g/L.

Tabela 8: Odlike mulja

Date	14.06.	25.06.	12.07.
			
Sludge Volume [mL/L]	12	40	200
DS [g/L]	7,3	8,6	11,8

Iako je mulj polako rastao, stabilan rast je jasno dokazan tokom pilot ispitivanja. Procjedne vode nisu toksične za posebnu vrstu mikrobiologije koja je kultivirana u membranskom bazenu sistema MBR.

4.3.9 Mikrobiologija

Tokom posjeta 14. juna, neki uzorci mulja analizirani su jednostavnim svjetlosnim mikroskopom kako bi se ispitala mikrobiološka aktivnost. U nastavku su date neke od slika uzetih iz uzorka pod mikroskopom.

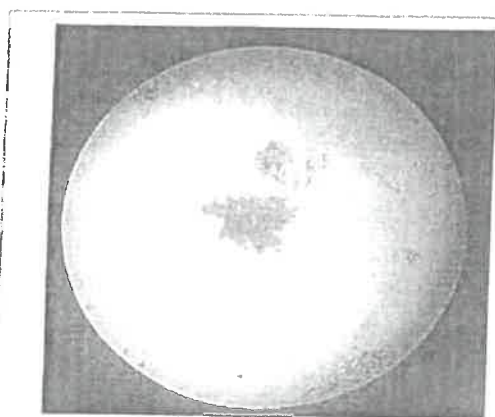


Figure 20: MBR sludge flocs- Microscope (1)

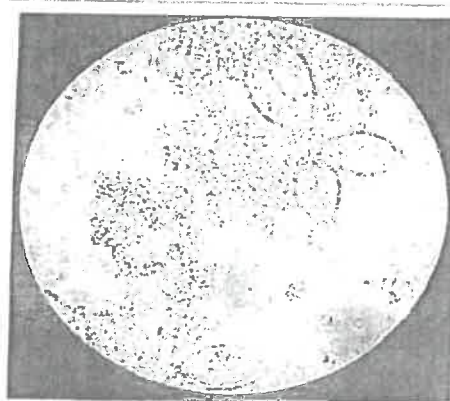


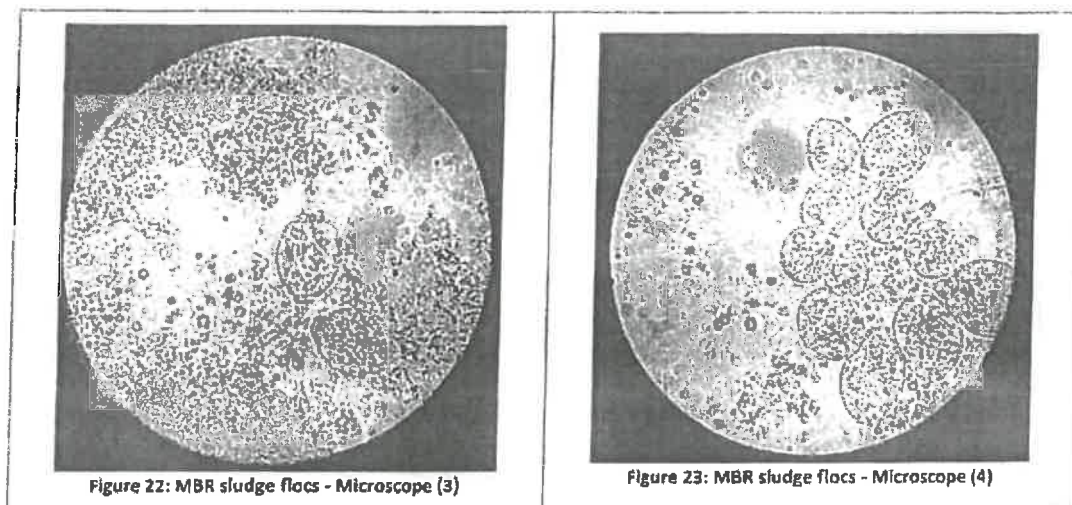
Figure 21: MBR sludge flocs - Microscope (2)

Slika 20: Flokulati mulja iz MBR – mikroskop (1)

Slika 20: Flokulati mulja iz MBR – mikroskop (2)

Sanja Berberović





Slika 22: Flokulati mulja iz MBR – mikroskop (3)

Slika 23: Flokulati mulja iz MBR – mikroskop (4)

Na slikama su prikazani flokulati mulja koji se sastoje od različitih bakterija koje se ne kreću. Također se može vidjeti nekoliko viših mikroorganizama (jednoćelijski eukarioti).

Mikroskopsku analizu mulja u jednoj sarajevskoj laboratoriji obavili su Ahmed Busuladžić i Aljoša Dizdarević u drugom laboratoriju u Sarajevu. Oni opisuju da je mulj formirao male flokulate. Kolonije *Vorticella convallaria* (vrsta ciliata) nađene su u velikim količinama.

Bilo je sasvim jasno od početka da su procjedne vode toksične za većinu mikroorganizama, koje smo dobili s muljem za taloženje. Možda je zbog toga eksterni laboratorij bio uvjeren da je cijela biomasa mrtva tokom posjeta 14. juna. Umjesto toga, bakterije (koje se uopće ne kreću) bile su aktivne i prilagođene višim vrstama koje su rasle (npr. *Vorticella convallaria*) i postale su vidljive pod mikroskopom.

4.3.10 Nutrijenti

Za rast bakterija neophodne su hranjive tvari fosfor i nitrogen. Omjer HPK:N:P = 200:5:1 obično se smatra minimumom za zdrav aerobni biološki proces. Ako opskrba nutrijentima nije dovoljna, rast biomase se usporava ili otežava. Stoga je kontinuirano mjerenje i dodavanje nutrijenata važno za stabilan proces.

Na slici 24 prikazani su omjeri HPK:P i HPK:N u procjednim vodama (= dotok u MBR). Sadržaj nitrogena je više nego dovoljan, ali je sadržaj fosfora očito prenizak za biološki proces. Stoga je potreban dodatni izvor fosfora. Za odabir prave mješavine hranjivih tvari treba uzeti u obzir da je nitrogen uvijek dostupan u izobilju.



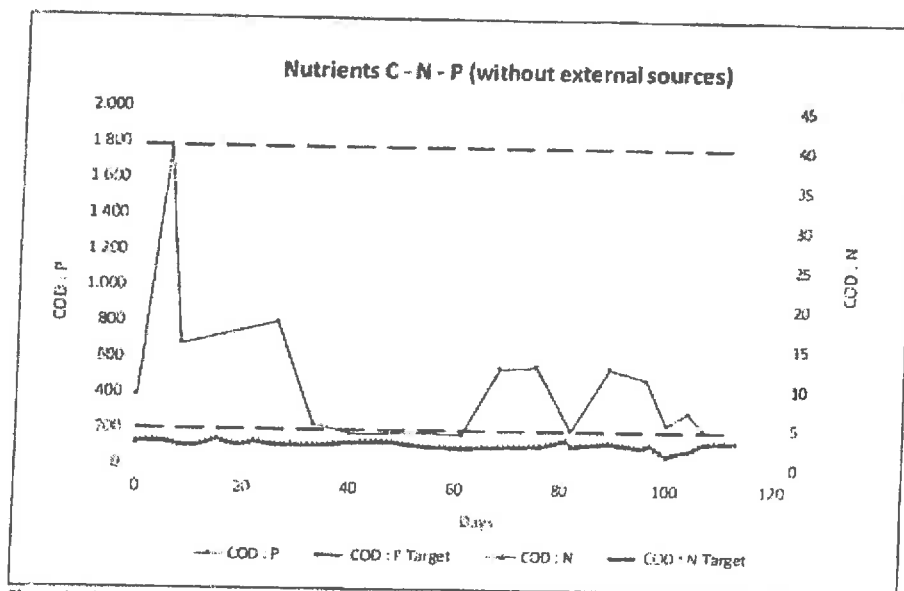


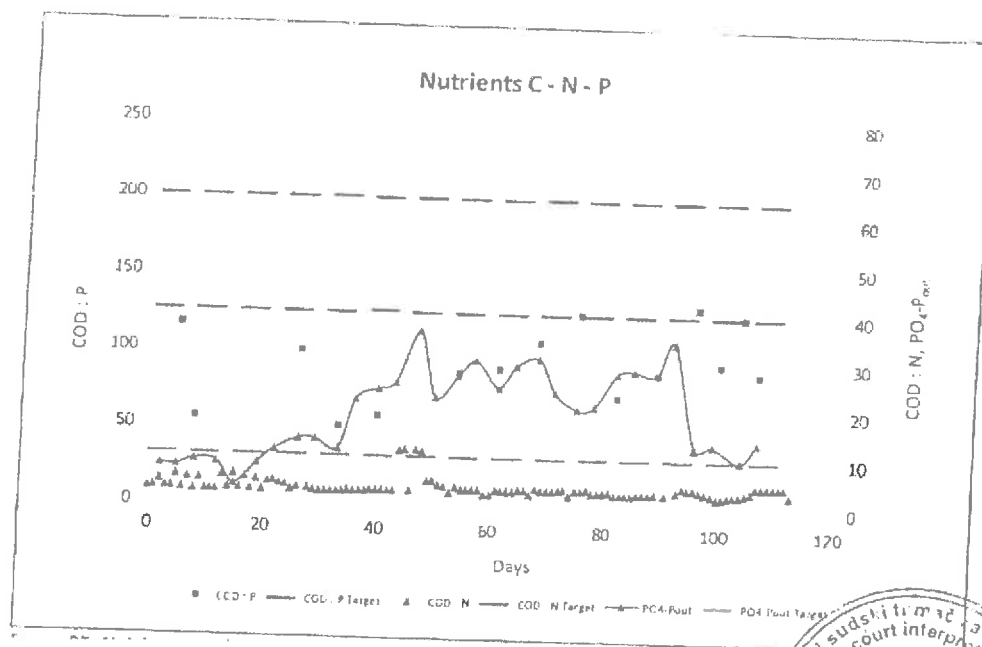
Figure 24: Nutrient supply: CNP content excluding external dosing

Slika 24: Obskrpa nitrogenom: CNP sadržaj, bez vanjskog doziranja

Fosfor se opskrbljuje kao nutrijent i ako je $> 10 \text{ mg/L}$ izmjereno u odlivu, doziranje je adekvatno. Zbog uticaja oborina u tijelu deponije, sirove procjedne vode gotovo da ne sadrže fosfor. Stoga je potrebno kontinuirano dodavanje izvora fosfora (gnojivo ili fosforna kiselina).

U prvoj fazi pilot ispitivanje (do 33.-eg dana) dodano je tekuće gnojivo "PhytoGreen®-NPK 12-4-6", a u drugoj fazi je dodano čvrsto gnojivo "KRISTALON SA 40% FOSFORA VODOTOPIV NPK 13/40/13" u pilot MBR postrojenje. Količina je podešena dotoku kako bi se postigla koncentracija od oko $30 \text{ mg PO}_4\text{-P/L}$ u dotoku i održalo $10 \text{ mg PO}_4\text{-P/L}$ u odlivu.

Na slici 25 prikazani su omjeri HPK:P i HPK:N, uključujući vanjsko doziranje gnojiva i izvora ugljika (šećer i acetatna kiselina). Također se može vidjeti sadržaj fosfora u odlivu. Doziranje gnojiva opskrba je bila dovoljna tokom cijelog razdoblja ispitivanja.



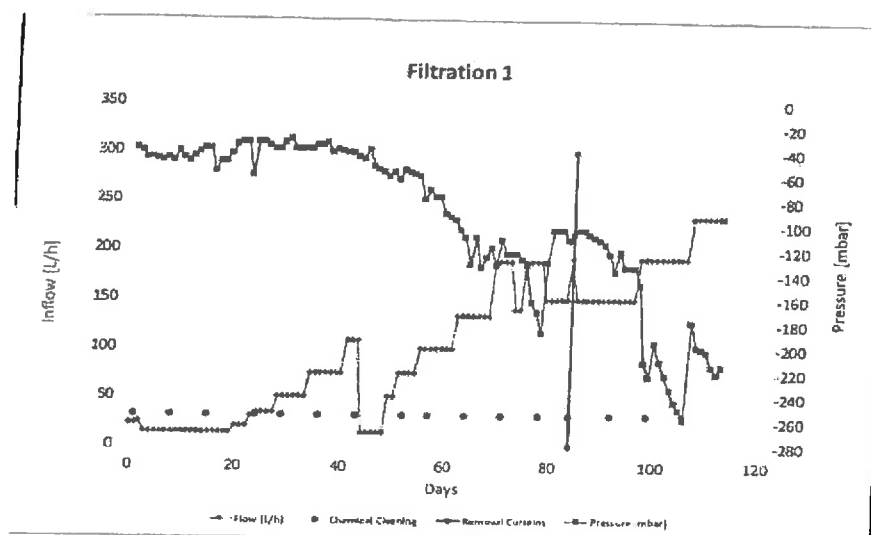
Slika 25: Obskrba nutrijentima: Sadržaj CPN sa vanjskim doziranjem

[Handwritten signature]



4.3.11 Filtracija

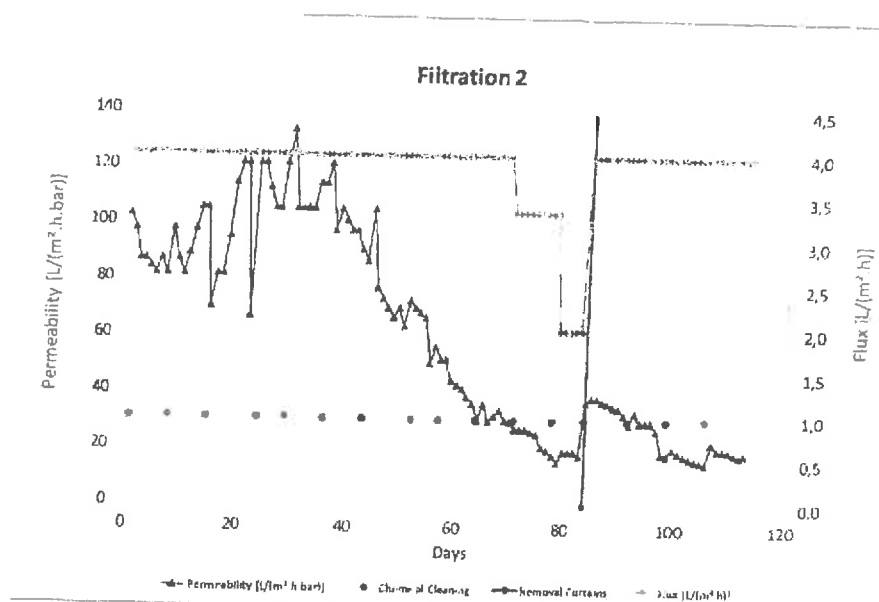
Za membransku filtraciju karakteristična vrijednost je usisni pritisak potreban za filtriranje. Zbog formiranja sloja na membrani, usisni pritisak je rastao s vremenom.



Slika 26: Parametri filtracije 1

Fluks se definira kao stopa volumetrijskog protoka filtrata kroz površinu membrane. Nakon uklanjanja pregrada (uporedite poglavlje 4.3.12.3.2.) bilo je dostupno samo pola površine originalne membrane. Fluks se još uvijek mogao održavati na $4 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h})$.

Propusnost se izračunava dijeljenjem fluksa s usisnim pritiskom. Prosječna vrijednost za pilot postrojenje je $60 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{bar})$, a u posljednjoj fazi prosjek je bio samo $22 \text{ L}/(\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot \text{bar})$. U krivoj propusnosti može se uočiti učinak hemijskog čišćenja.



Slika 27: Parametri filtracije 2

Ukratko, za veliko postrojenje membranska površina mora biti odabrana pažljivo i preporučuje se konzervativni pristup s dostatnom površinom membrane.

Sanja Berberović



4.3.12 Poteškoće

4.3.12.1 Temperatura

Zbog biološke aktivnosti, mehanička snaga koju stvaraju pumpe, miješalice i raspršivači i sunčevo zračenje, temperatura u bazenu MBR raste. Temperatura je 13. juna iznosila 31,9°C. Visoka temperatura uzrokovala je kondenzaciju u zatvorenom spremniku, što dovodi do problema s korozijom.

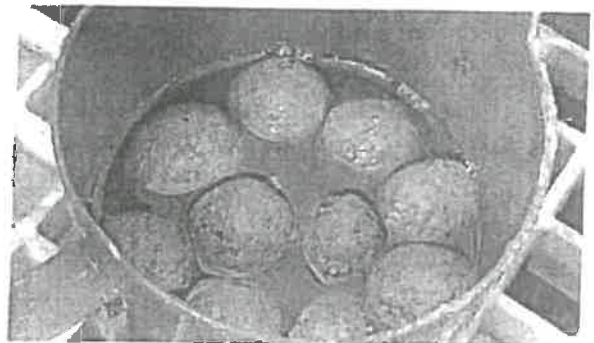
Da bi se temperatura održala što je moguće nižom, poklopac MBR bazena je uvijek bio otvoren, a stražnja vrata su bila otvorena tokom dana.

Naučena lekcija:

Tehnički sistem hlađenja biće potreban za veliko postrojenje.

4.3.12.2 Stvaranje kuglica od mulja

Već na početku ispitivanja, 20.-og maja, uočene su smeđe kuglice kako plutaju u MBR bazenu. Ove "loptice" mogu se izgužvati bez velikih napora. Međutim, takve formacije do sada nisu bile uočene u sličnim ispitivanjima MBR postrojenja, a moguće je da su šećer i humusne tvari doprinijele njihovom formiranju. Kuglice su uklonjene i nije bilo novih.



Slika 28: „Kuglice od mulja“

Figure 28: Sludge "balls"

4.3.12.3 Membranski modul

Pritisak filtracije na početku ispitivanja bio je -110 mbar. Iako je membrana bila u dobrom mehaničkom stanju, već je bila prilično stara i bila je korištena u mnogim pilot ispitivanjima.

4.3.12.3.1 Juni

Hemijsko čišćenje membranskog modula vršeno je redovno jednom sedmično. Tokom posjeta 14. juna modul je podignut i ispran vodom. Slike prikazuju modul prije i poslije čišćenja. Sama vlakna membrane nemaju vidljivih oštećenja.

Pritisak filtracije u ovom trenutku iznosio je -130 mbar



Figure 29: Membrane module before cleaning (June 14th)

Slika 29: Membranski modul prije čišćenja (14. juni)

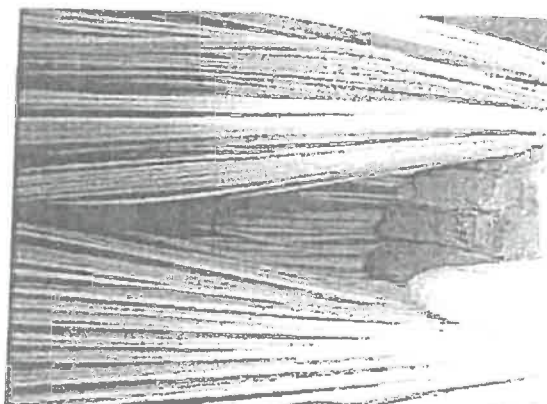


Figure 30: Membrane fibers after cleaning (June 14th)

Slika 30: Vlakna membrane nakon čišćenja (14. juni)

Sanja Berberović



4.3.12.3.2 Juli

Postrojenje je 12. jula prestalo raditi zbog visokog pritiska usisavanja (-258 mbar). Hemijsko čišćenje na zraku i pranje vodom obavio je Dražen Sekulić. Međutim, to nije donijelo očekivane rezultate.

Na dan 18. jula tehnički supervizor iz EnviCare® posjetio je postrojenje zbog održavanja membrane. Modul je podignut iz MBR spremnika. Između 14. juna i 12. jula između vlakana se razvila neka vrsta gumenog mulja, koji se nije mogao ukloniti samo čišćenjem vodom. Membranski modul je rastavljen i svaka membranska pregrada očišćena je posebno. Nakon toga je modul ponovno sastavljen, ali je svaka druga pregrada uklonjena kako bi se poboljšao protok i svojstva aeracije između pregrada, tako da se mulj više ne akumulira tako lako između vlakana. Slike ispod prikazuju situaciju na dan 18. jula.

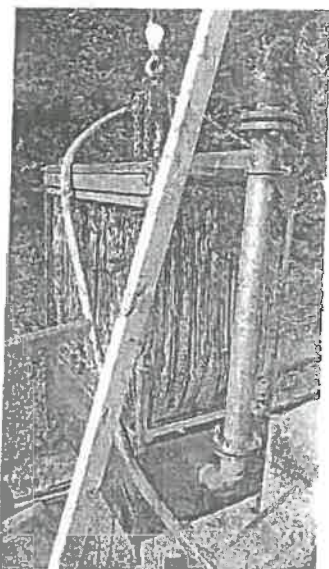


Figure 31: Membrane module before cleaning

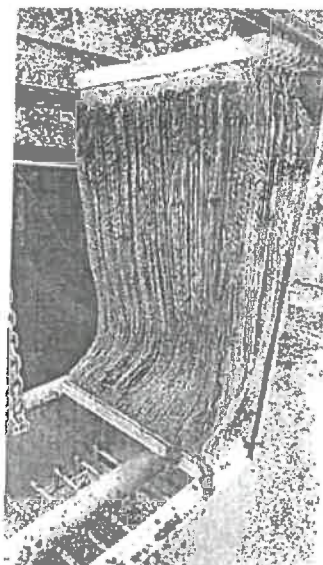


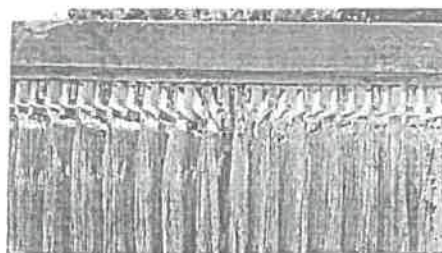
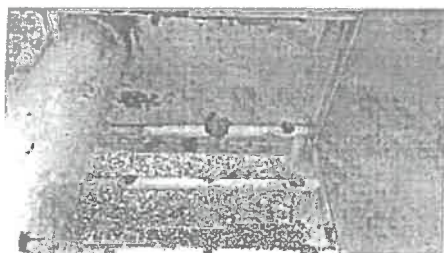
Figure 32: Disassembled module



Figure 33: Rubberlike sludge



Figure 34: Rubberlike sludge



Slika 31: Membranski modul prije čišćenja

Slika 32: Rastavljeni modul

Slike 33: „Gumeni“ mulj

Slika 34: „Gumeni“ mulj

Slika 35: Začepljene rupe za aeraciju

Slika 36: Očišćeni, rastavljeni modul

[Handwritten signature]



Pored toga, protok filtracije je smanjen, a istodobno se povećalo vrijeme filtracije kako bi se smanjilo opterećenje na membrani, i kako bi se zadržala dnevna propusnost na približno jednakoj razini.

Nakon ponovnog pokretanja usisni pritisak je bio oko -200 mbar, što se smatralo dostatnim, jer modul filtrira istu količinu filtrata kao i prije sa samo polovinom površine membrane.

Moguće objašnjenje ovog problema

Namjera je bila dodati šećer kao lako razgradivi izvor ugljika kako bi se izgradila biomasa i smanjila količina nitrata/nitrita. Korišten je šećer umjesto acetatne kiseline, koja u datom trenutku nije bila dostupna.

Nažalost, smanjenje količine nitrata/nitrita sa šećerom nije uspjelo kao što se to očekivalo (vidi poglavlje 4.3.5.2). Kao neželjena nuspojava, moguće je da se šećer nije u potpunosti razgradio i zajedno s postojećim organskim spojevima iz dotoka (huminskim tvarima) razvio se glomazni, "masni" mulj nalik na gumu. Ta masa je ometala izvedbu filtriranja. Također je moguće da su bakterije proizvele neku vrstu biopolimera.

Kako bi se prevladao ovaj problem, dodavanje šećera je zaustavljeno 12. jula, a acetatna kiselina je dozirana kao lako i brzo razgradivi izvor ugljika od 26. jula, kako bi se dobio manji mulj i niže vrijednosti HPK u filtratu.

4.4 Zaključci pilot ispitivanja

4.4.1 Karakteristične vrijednosti

Tabela 9 prikazuje svojstva procjednih voda. Te su vrijednosti osnova za izračune velikog postrojenja prikazane u poglavlju 5.

Tabela 9: Svojstva procjednih voda (relevantna za biološki tretman)

Procjedne vode	Prosječna vrijednost	Donji raspon	Gornji raspon	Jedinice
Protok	2,9	1,5	4,7	Us
	10,3	5,3	17,1	m ³ /h
	248	128	410	m ³ /d
pH	8,1	7,7	8,2	-
Električna provodivost	11.523	7.700	14.130	pS/cm
HPK (isklj. izvora ugljika)	2.244	1.480	2.710	mg/L
Amonijak NH ₄ -N	823	640	1.130	mg/L
Ukupni nitrogen TN	968	755	1.235	mg/L
Omjer TN/NH ₄ -N	1,18	1,09	1,18	-
Fosfor P ₀₄ -P	7,8	1,2	14,5	mg/L

Tabela u nastavku sadrži najvažnije karakteristične vrijednosti za tretman otpadnih voda iz pilot postrojenja. Vrijednosti se temelje na periodu od 27.07. (93. dan) do 15.08.2018. (112. dan).

Amir

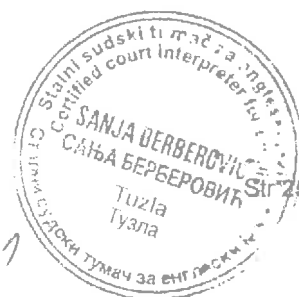


Tabela 10: Karakteristične vrijednosti dobivene pilot ispitivanjem

Biologija	
Volumen MBR	12m ³
Suha materija (SM)	
MBR	15,7g/L
Filtrat	6,6g/L
Biomasa	9,1g/L
Protok zraka	80Nm ³ /h
Opterećenje HPK (ne uključujući iz. ugljika)	11,1kg/d
Opterećenje HPK (uključujući iz. ugljika)	16,3kg/d
Izlazni HPK	7,2kg/d
Opterećenje amonijaka NH ₄ -N	4,3kg/d
Izlazni amonijak NH ₄ -N	0,8kg/d
Volumetrijsko opterećenje HPK L _v ,HPK	0,76kg/(m ³ .d)
Opterećenje muljem HPK L _s ,HPK	0,056kg/(kg.d)
Volumetrijsko opterećenje NH ₄ -N L _v ,nh4-n	0,29kg/(m ³ .d)
Opterećenje mulja s NH ₄ -N L _{SNH4-N}	0,023kg/(kg.d)
Vrijeme hidrauličkog zadržavanja HRT	2,6d
Prinos mulja Y _{DS}	0,36kg DS/kg HPK
Starost mulja	31,7d
Nutrijenti	
HPK vanjski izvor ugljika	1,092mg/L
HPK opterećenje uz vanjski izvor ugljika	5,1kg/d
PO ₄ -P gnojivo	23mg/L

Membrana korištena za pilot ispitivanje ima sljedeće karakteristike:

Tabela 11: Karakteristike membrane u pilot ispitivanju

Membrana		
Materijal	PVDF	
Veličina pora	0,05	µm
Površina	210	m ²
Protok	10	L/(m ² .h)
Propusnost	>20	L/(m ² .h.bar)

4.4.2 Konačni rezultati pilot ispitivanja

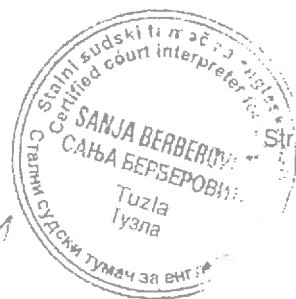
- Bakterije se lagano, ali postojano prilagođavaju procjednim vodama i rastu znatno sporije nego u postrojenjima za tretman komunalnih otpadnih voda. Zbog toga je potrebno postepeno ubrzavati proces i povećavati ukupni protok samo kada su uslovi (posebno koncentracija amonijaka, nitrita/nitrata i pH) stabilni. (Poglavlje 4.3.2)
- Pored toga, opterećenje HPK mora biti prilagođeno postojećoj biomasi.
- Zbog stabilnih svojstava dotoka tokom vremena vrlo je jednostavno prilagoditi opterećenja na postrojenju za tretman i dosljedno upravljati postrojenjem. (Poglavlje 4.3.10)

Priručnik



- Mjerenje protoka u dotoku u bazen ne funkcioniše ispravno kao što je pokazao jednostavan test protoka. Preporučuje se ugradnja mjerne jedinice tipa Venturi u skladu sa smjernicama. (Poglavlje 4.3.3)
- pH, amonijak, nitriti i nitrati vrlo su važni ključni faktori za rad sistema za biološki tretman procjednih voda i uvijek ih treba pažljivo pratiti. Visok pH i visoka koncentracija amonijaka, kao i nizak pH u kombinaciji s visokom koncentracijom nitrita mogu biti toksični za biomasu. (Poglavlje 4.3.4)
- Temperaturu uvijek treba održavati ispod 35°C. Stoga će biti potreban vanjski sistem hlađenja za postrojenje velikih razmjera. (Poglavlje 4.3.4)
- Za uspješno funkcioniranje velikog postrojenja te kako bi se minimizirali problemi koji nastaju zbog toksičnog okruženja za biomasu, apsolutno su potrebna pouzdana mjerenja ključnih parametara. Pouzdanost rezultata mora se uvijek provjeravati u pogledu bilansa mase i fluktuacija. (Poglavlje 4.3.5.1)
- Tokom pilot ispitivanja postignut je stepen nitrifikacije od >80%. Učinak denitrifikacije tokom posljednje faze pilot ispitivanja iznosio je oko 46% u odnosu na dotok amonijaka. Za HPK je tokom posljednje faze postignuta razgradnja od 45% (poglavlje 4.3.6). Vrlo je vjerovatno da će ove vrijednosti biti nadmašene u radu velikog postrojenja.
- Za uspješnu denitrifikaciju važni su anoksični uslovi u bazenu za denitrifikaciju. Kapacitet raspršivača i brzina recirkulacije moraju se tome prilagoditi. Online mjerne sonde mogu biti prekrivene muljem i stoga se preporučuje redovno čišćenje i ručno referentno mjerenje. (Poglavlje 4.3.7)
- Volumen mulja i suha materija kao pokazatelji biomase u MBR su se povećavali tokom vremena. Suha materija je na kraju ispitivanja iznosila 15,7 g/L. U mikrobiološkoj analizi mogle su se primijetiti bakterije u tipičnim flokulatima mulja i nekim višim vrstama (npr. *Vorticella convallaria*). (Poglavlje 4.3.8)
- Budući da je koncentracija fosfora u procjednim vodama vrlo niska, treba dodati vanjski izvor fosfora. Dovoljna količina se mjeri koncentracijom u odlivu, koja ne smije biti niža od 10 mg $\text{PO}_4\text{-P/L}$. Prema tome, potrebna je doza od 30 mg $\text{PO}_4\text{-P/L}$ u dotoku. Dodatno, uključivanje fosfora ukazuje na rast biomase. (Poglavlje 4.3.10)
- Za postorijenje velikih razmjera, membranska površina mora biti odabrana pažljivo pa se preporučuje konzervativni pristup s dovoljnom površinom membrane (poglavlje 4.3.11).

Sanja Berberović



5 Koncept velikog postrojenja za tretman procjednih razmjera - MBR-RO

Iako MBR uklanja više od 50% organskog opterećenja kao i oko 70% nitrogena, postrojenje će imati samo ograničeni stepen uklanjanja od približno 30 - 50% određenih teških metala dok će hlorid ostati generalno nepromijenjen.

Stoga je neizbježno primijeniti mjeru za sekundarni tretman kako bi se zadovoljile propisane granice efluenta za HPK, BPK₅, ukupni nitrogen, nitrat i hlorid.

Općenito, postoji nekoliko opcija za rafiniranje; prednosti i nedostaci svake od njih navedni su u nastavku:

Fizički proces	Prednosti (+)	Nedostaci (-)	Procjena
Aktivni ugljik	➤ Jednostavno ➤ Nema koncentrata ➤ Niska potrošnja	➤ Nema eliminacije hlorida i nitrata ➤ Ograničena dostupnost	➤ Nije prikladno za ispunjavanje ograničenja Cl i NO₃
Jednostepena reverzna osmoza	➤ 98% eliminacije svih tvari > 100 Da ➤ Jednostavno rješenje ➤ Modularno	➤ Oko 10% koncentrata ostaje ➤ Veća potražnja za energijom	➤ Najbolje rješenje
Dvostepena reverzna osmoza ili prvostepena nanofiltracija i Dvostepena RO	➤ 98% eliminacije svih tvari > 100 Da ➤ Modularno	➤ Ostaje oko 20% koncentrata ➤ Veća potražnja za energijom ➤ Veći kapitalni rashodi i operativni troškovi	➤ Drugi najbolji izbor ➤ Potrebno ako se granica nitrata ne može podići

Na osnovu gore navedenih činjenica, sistem jednostepene RO odabran je kao najbolje rješenje i detaljnije je opisan u nastavku.

5.1 Dotok

U Tabeli 12 navedeni su osnovni projektni parametri za sistem MBR za predtretman procjednih voda na deponiji Smiljevići.

Parametri dotoka uzeti su iz prosječnih rezultata analize provedene tokom pilot faze i hemijske analize austrijskog laboratorija GfA 11.01.2017. godine. Parametri za filtrat MBR uzeti su iz analize provedene tokom pilot faze i najnovije hemijske analize koju je proveo austrijski laboratorij CLUG (miks uzoraka iz avgusta 2018. godine, vidi Dodatak 0). Službene granice efluenta poslane su nam e-mailom dana 21.12.2016. godine.

Tabela 12: Eksperimentalni rezultati i ograničenja efluenata (Filtrat MBR: prosječni rezultati od 93. -eg do 112.-og. dana)

Parametar	Miks dotoka	Filtrat MBR	Ograničenja efluenata
Količina	248 m ³ /d		
TSS	< 100 mg/L < 25 kg/d	0 mg/L	35 mg/L
pH	8,1	8,2	6,5-9,0
Elektr. provodivost	11.523 pS/cm	8.100 pS/cm	—
Q _H CL _{33%} -pH _{6,5} ³⁾	količina HCL _{33%} za postizanje pH 6,5	3 ml/L	

Smiljevići



HPK	2.240 mg/L 557 kg/d	1.500 mg/L	125 mg/L
NO ₃ -N	12 mg/L 3,0 kg/d	220 mg/L	10 mg/L
NH ₄ -N	820 mg/L 204 kg/d	130 mg/L	10 mg/L
Sulfid	< 0,1 mg/L ¹⁾ < 0,025 kg/d	< 0,01 ²⁾	0,1 mg/L
Cl	1.330 mg/L ²⁾ 330 kg/d	1.340 mg/L ³⁾	250 mg/L
Ca	28,1 mg/L ¹⁾ 7,0 kg/d	39 mg/L ³⁾	—
Ba	0,84 mg/L ¹⁾ 0,2 kg/d	0,076 mg/L ³⁾	5,0 mg/L
Si (kao Si)	12,9 mg/L ¹⁾ 6,8 kg/d	13,7 mg/L ³⁾	—
Sr	-	< 0,01 mg/L ³⁾	

1) Izvještaj analize GfA 170008P, 11.01.2017.

2) Prosjek rezultata dobijenih u bh. laboratorijima

3) Izvještaj analize CLUG U18 /1303 (Dodatak 0)

5.2 MBR – Membranski bioreaktor

5.2.1 Projektni parametri

Na osnovu nalaza pilot ispitivanja odabrani su sljedeći parametri za projektiranje postrojenja velikih razmjera (LSP). Rezultati pilot ispitivanja postignuti su u periodu od 93. do 112. dana.

Tabela 13: Osnovni projektni parametri

Dotok	Rezultati pilot testiranja	Parametri projektiranja LSP
Protok	2,9 L/s	3,3 L/s
	10,3 m ³ /h	12 m ³ /h
	248 m ³ /d	288 m ³ /d
HPK (isključujući izvor ugljika)	2.244 mg/L	2.500 mg/L
Amonijak NH ₄ -N	823 mg/L	850 mg/L
Ukupni Nitrogen TN	947 mg/L	978 mg/L
Fosfor PO ₄ -P	7,8 mg/L	7,0 mg/L

Tabela 14: Tehničke pretpostavke

Tehničke pretpostavke	Rezultati pilot ispitivanja	Parametri projektiranja LSP
Stepen denitrifikacije	40 %	70 %
Omjer BPK/TKN		3
Uklanjanje HPK	35 %	52 %
Prinos mulja - Y _{DS}	0,36 kg DS/kg HPK _{rem}	0,20 kg DS/kg HPK _{rem}
Starost mulja	31,7 d	40 d
Sadržaj mulja	15 g/L	15 g/L
Povlačenje mulja	- m ³ /d	8,0 m ³ /d
Volumetrijsko opterećenje HPK y _{Lv} HPK	0,76 kg/(m ³ .d)	0,85 kg/(m ³ .d)
N _{ol} Volumetrijsko opterećenje L _v ,N _{tot}	0,41 kg/(m ³ .d)	0,25 kg/(m ³ .d)
HPK opterećenje mulja L _s ,HPK	0,056 kg/(kg.d)	0,057 kg/(kg.d)
N _{tot} opterećenje mulja L _s ,N _{tot}	0,032 kg/(kg.d)	0,016 kg/(kg.d)
Hidrauličko vrijeme zadržavanja HRT	2,6 d	2,8 d

Tabela 15: Opskrba hranjivim tvarima

Sanja Berberović



Opskrba nutrijentima	Rezultati pilot ispitivanja	Parametri projektiranja LSP
Vanjski izvor ugljika		
HPK - koncentracija	1.100 mg/L	500 mg/L
HPK - opterećenje	5,1 kg/d	144 kg/d
Acetatna kiselina 80%	5,6 L/d	185 L/d
Vanjski izvor P		
PO ₄ -P - koncentracija	23 mg/L	15 mg/L
PO ₄ -P - opterećenje	0,11 kg/d	4,3 kg/d
Kristalon, čvrsti	0,6 kg/d	24,7 kg/d

Tabela 16: Parametri projektiranja velikog postrojenja (LSP)

Konstrukcija bioreaktora LSP			
Potrebni volumen spremnika	364 m ³		
Odabrani volumen spremnika	801 m ³		
Denitrifikacija			
Ukupni volumen	314 m ³	D _{reaktD}	10,0 m
Iskoristivi volumen	274 m ³	H _{reaktD}	4,0 m
		H _{waspD}	3,5 m
Nitrifikacija			
Ukupni volumen	585 m ³	L _{reaktN}	13,0 m
Iskoristivi volumen	527 m ³	B _{reaktN}	9,0 m
		H _{reaktN}	5,0 m
		H _{waspN}	4,5 m
Projektiranje opskrbe LSP kisikom			
Ukupni unos kisika po danu	2.088 kg/d		
Potreba za zrakom po satu	1.895 m ³ /h		
Projektiranje mikrofiltracije			
Protok membrane	8 L / (m ² .h)		
Površina membrane po modulu	800 m ²		
Broj modula	2		
Ukupna površina područja filtracije membrane	1.600 m ²		

MBR-postrojenje obuhvata objekte kako slijedi:

- Postrojenje za preliminarnu provjeru
- Anoksično odjeljenje - denitrifikacija
- Aeracija - nitrifikacija
- Membranska jedinica (MBR)
- Skladište mulja

Osnovni dijagram protoka postrojenja MBR nalazi se u Dodatku 7.2.

Imenić



5.2.2 Tehnički opis građevinskih radova

Glavna namjera je koristiti postojeće objekte što je više moguće kako bi se smanjili investicijski troškovi.

5.2.2.1 Zemljani radovi

Zemljani radovi trebali bi biti svedeni na najmanju moguću mjeru i mogu biti neophodni samo za neke manje temelje za kontejner za reverznu osmozu od 40 inča i dodatne spremnike, kao 2 kom. PP-spremnika za ugradnju uronjenih membrana i PE-HD spremnika za koncentrat (4 m^3) i spremnika za mulj od 30 m^3 .

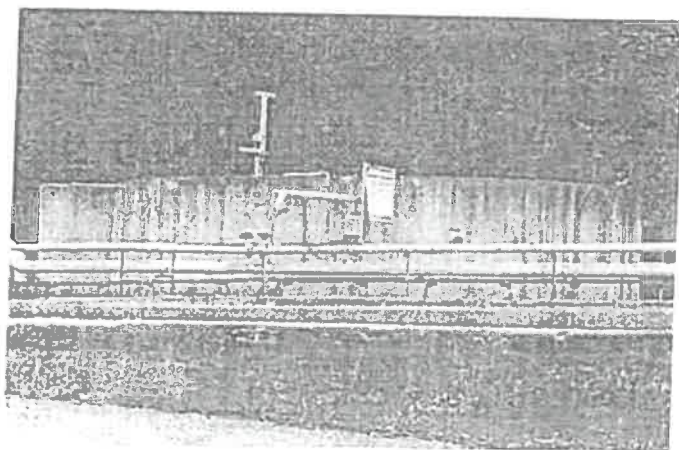
5.2.2.2 Bazeni

5.2.2.2.1 Prihvatni bazen za procjedne vode (postojeći)

Postojeći bazen za aeraciju od 500 m^3 , koji se sada koristi kao reaktor za aktivni mulj, koristiće se kao bazen za prihvat procjednih voda. Svi instalirani uređaji i oprema za aeraciju biće uklonjeni, a dvije uronjene pumpe biće ugrađene kao pumpe za napajanje za novi MBR sistem. Odliv je usmjeren u spremnik za denitrifikaciju.



5.2.2.2.2 Anoksični bazen - denitrifikacija (postojeći)

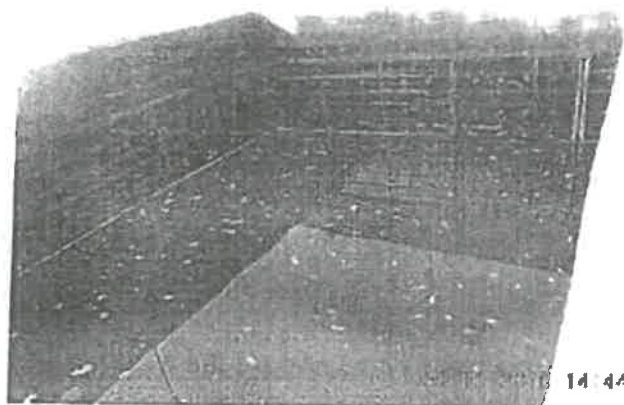


Postojeći spremnik za odlaganje mulja od 300 m^3 koristiće se kao reaktor za anoksičnu denitrifikaciju miješanjem. Napaja se iz dotoka i preljeva iz dva MBR spremnika. Preljev se gravitacijom usmjerava prema spremniku za nitrifikaciju.

Prilici



5.2.2.2.3 Aerirani bazen - nitrifikacija (postojeći)



Postojeći bazen za prihvrat procjednih voda od 500 m³ je približno 5 m dubok i koristiće se kao reaktor za aeriranu nitrifikaciju. Dubina je prikladna kako bi se osigurao učinkovit i dovoljan prijenos kisika.

Bazeni su izrađeni od betona sa čeličnom armaturom i PE-DH oblogom kako bi se izbjeglo curenje otpadnih voda.

5.2.2.2.4 Dva MBR spremnika (novi)

Dva nova MBR spremnika (0 2,40 m, $H_{tot} = 4,50$ m, $H_{voda} = 4,00$ m) moraju se instalirati u blizini bazena za nitrifikaciju. Njihova razina vode biće postavljena više od maksimalne razine u spremniku za denitrifikaciju kako bi se omogućio gravitacijski protok.

5.2.2.3 Zgrade

Neće se graditi dodatne zgrade. Postojeći sistemi doziranja hemikalija biće ispitani, modernizirani i dalje korišteni.

U budućnosti će se koristiti i raspršivači, kontrola, hemijsko doziranje i laboratorijske prostorije.

5.2.2.4 Ceste i uređenje okoliša

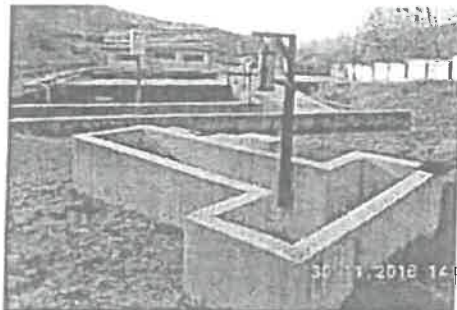
Ne planiraju se nove ceste; uređenje okoliša nije potrebno.

5.2.3 Tehnički opis mehaničke i električne opreme

Postrojenje za tretman otpadnih voda (PTOV) projektirano je da radi potpuno automatski i u skladu s metodom produžene aeracije aktivnog mulja u kombinaciji s upotrebom uronjenih membrana (MBR metoda).

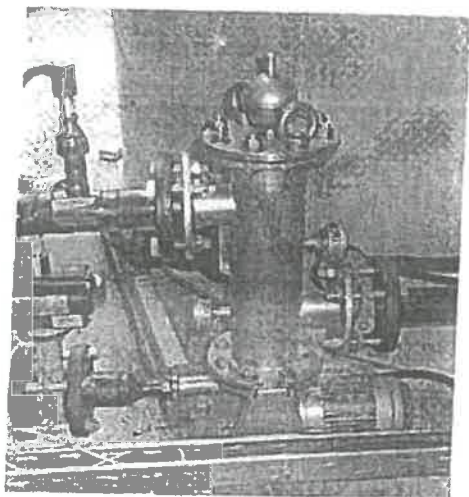
5.2.3.1 Pumpe za dotok i dizanje

Ulazna komora i stanica za podizanje uglavnom će ostati netaknute. Naravno, neophodno je provjeriti sve funkcije i ukloniti sve smetnje. Cijevi iz pumpi za dizanje biće preusmjerene kako bi se protok usmjerio na novi prihvatni bazen.



Sanja Berberović

5.2.3.2 Prihvatni bazen, pumpe za dizanje i jedinica za testiranje



Svi instalirani uređaji i oprema za aeraciju moraju se ukloniti, a dvije redundantne uronjene pumpe biće ugrađene kao pumpe za napajanje za novi MBR sistem. Odliv je usmjeren u spremnik za denitrifikaciju novoinstaliranim cijevima.

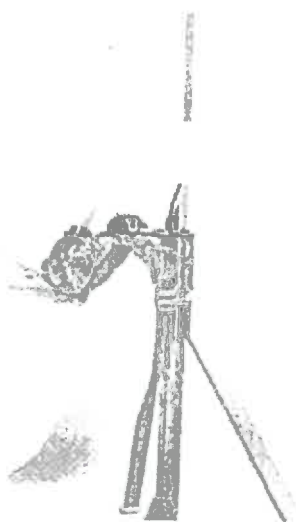
Da bi se uklonili krupne materije iz otpadnih voda, nakon postavljanja pumpe u prihvatni bazen biće ugrađena gusta pregrada s povratnim ispiranjem veličine <1 mm, kao i potrebni uređaji za cjevovode i električni i kontrolni uređaji.

Funkcija pregrade je da ukloni vlaknasti materijal i velike čvrste tvari koje bi inače mogle blokirati cijevi ili nizvodne membranske module. Filtrat sa pregrada se usmjerava u anoksični bazen za denitrifikaciju.

Čvrste tvari koje se uklanjaju na pregradi ispuštaju se u spremnik za mulj. Ovaj otpad treba odlagati zajedno s biološkim viškom mulja iz MBR sistema.

Nakon pregrade, biće postavljen MID-mjerač protoka za mjerenje propusnosti.

5.2.3.3 Anoksični tretman/denitrifikacija



Postojeći bazen opremljen je uronjenim propelernim agitatorom i dizajniran je tako da se miješanjem osigurava dovoljan prijenos mase između dotoka i recirkulirane biomase iz MBR spremnika. To čini osnovu za dobru razgradnju BPK i nitrata.

Izbjegava se svako taloženje mulja i osigurava se homogeni miks, kao i opskrba organizama nutrijentima.

Postojeći mješač će se provjeriti i, ako više nije prikladan, zamijeniti novim.

Dimenzije bazena i ukupni radni volumen dati su u Tabeli 16.

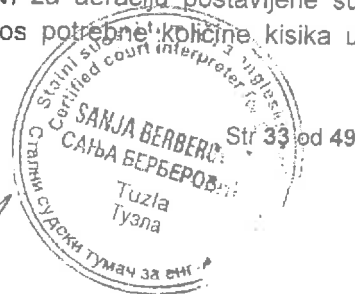
Bazen je opremljen za preljev, a efluenti se usmjeravaju u bazen za aerobnu nitrifikaciju.

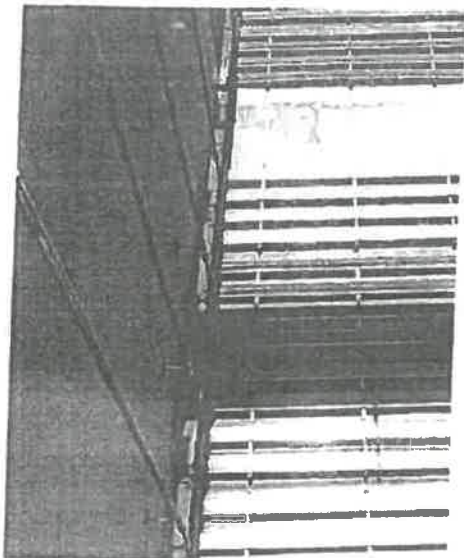
5.2.3.4 Aerobni tretman/nitrifikacija

Dimenzije bazena i ukupni radni volumen dati su u Tabeli 16.

Dotok ulazi iz bazena za denitrifikaciju. HPK i amonijak se oksidiraju u ovom odjeljku. Kisik koji je potreban za ovaj zadatak osigurava se komprimiranim zrakom. Cijevi za aeraciju postavljene su otprilike 20 cm iznad dna bazena. Aeracioni sistem osigurava prijenos potrebne količine kisika u aktivni mulj.

[Handwritten signature]





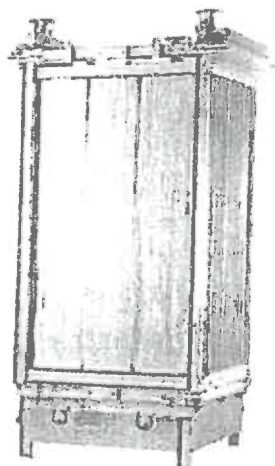
Kisik u aeracijskom odjeljku dobiva se pomoću tri rotirajuća raspršivača s frekventnim upravljanjem.

Neophodno je provjeriti mogu li se koristiti i 3 postojeća Aerzen raspršivača (što je vjerovatno) ili je potrebno instalirati nove.

Senzori na lokaciji registriraju temperaturu i kontroliraju sadržaj O_2 u spremniku za aeraciju regulirajući snagu raspršivača. Razina spremnika kontinuirano se kontrolira pomoću Piezo senzora.

Redundantne uronjene recirkulacijske pumpe u aerobnom spremniku ispušćavaju aktivni mulj prema MBR kontejnerima i također omogućavaju vremenski aktivirano uklanjanje viška mulja.

5.2.3.5 Membranski bioreaktor (MBR)



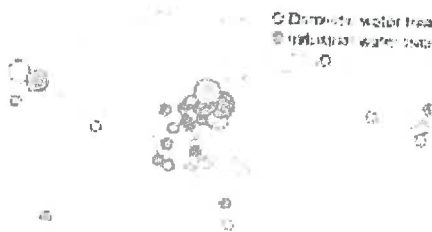
Uronjene membrane od šupljih vlakana smještene su u dva MBR spremnika (poglavlje 5.2.2.2.4).

Zračni ventilator osigurava aeraciju koja je neophodna da bi se spriječilo zaprljanje i začepljenje membrana te poboljšao proces aeracije. Zračni difuzori od nehrđajućeg čelika integrirani su u membranske module na dnu strukture.

Ekstrakcija filtrata izvodi se redundantnim vakuumskim pumpama koje osiguravaju potreban negativni pritisak na strani filtrata.

Jedinice za mjerenje protoka, pH i električne provodivosti nalaze se prije ulaza u spremnik za filtriranje.

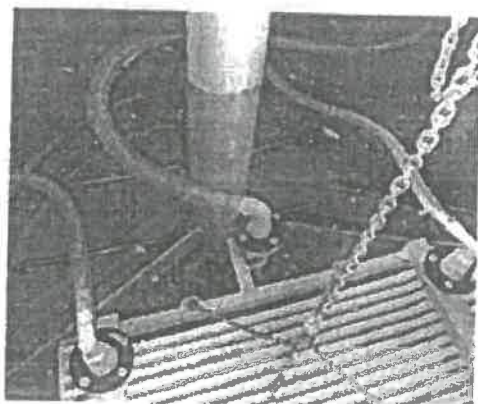
Tamo se također mogu uzeti uzorci očišćene vode.



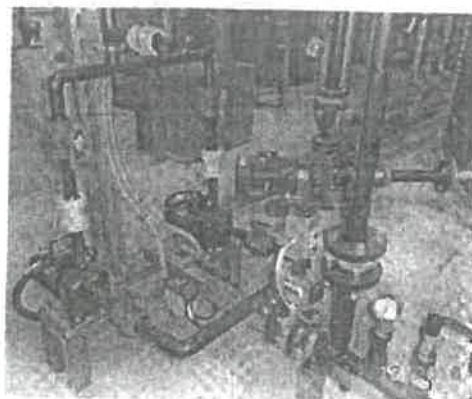
Danas u svijetu postoji više od 4000 MBR postrojenja s ovom vrstom PVDF membranskih modula.

Pravac





Membranski spremnik



Pumpa za ekstrakciju filtrata

5.2.3.6 Membranski sistem

Dva membranska modula od 800 m² ugrađena su u dva okrugla PP spremnika (Ø 2,40 m, H_{tot} = 4,50 m, H_{voda} = 4,00 m) smještena uz bazen za denitrifikaciju.

Membrane su izrađene od PVDF i trajno su hidrofilne. Vlakna su vrlo otporna na zamor od savijanja. Membrane su spremne za upotrebu i moгу se pohraniti na suhom.

Nekoliko membranskih elemenata montirano je na stabilnu konstrukciju, tvoreći tako jedan modul od 800 m² filtracijske površine membrane. Filtrat se izvlači kroz priključne cijevi. Tabela u nastavku prikazuje specifikacije jednog modula.

	Kućiste modula materijala	SS
	Membranski polimer	PVDF
	Veličina pora	0,05 µm
	Vanjski promjer	1,65 mm
	Površina modula	800 m ²
	Radni pritisak	10-400 mbar
	Pritisak u povratnom vodu	max. 150 mbar
	Minimalna razina vode	3,2 m
	Dimenzije DxŠxV	1.524 x 1.390x2.798 mm

Uređaj za aeraciju ispod membrana povećava turbulenciju i, posljedično, učinak struganja na površini membrane.

Naizmjenično filtriranje i opuštanje izvodi se automatski.

Transmembranski pritisak do 0,4 bara kontrolira količinu vode i osigurava se s dvije redundantne usisne pumpe. Dodatna pumpa je instalirana za povratno ispiranje ili hemijsko čišćenje. Sve pumpe su instalirane u postojećoj zgradi.

Sanja Berberić



5.2.3.7 Cjevovodi, ventilatori i pomoćni uređaji za membransku jedinicu

Da bi se održavao pravilan rad membrane, potreban je sistem za čišćenje. Isti je povezan s MBR spremnicima.

Ventilatori, spremnici, pumpe i cjevovodi za rad membranske (spremnici za čišćenje, ispiranje itd.) ugrađeni su u postojeću zgradu.

Postojeći raspršivači se vjerovatno i dalje mogu koristiti, ali je, naravno potrebno dalje ispitivanje i povećanje snage motora.

5.2.3.8 Rashladnik

Kako bi se osigurao optimalni temperaturni raspon ($<35^{\circ}\text{C}$ u filtratu MBR) za biološke i membranske procese, potreban je rashladnik.

Preliminarna procjena pokazuje potrebu za hlađenjem od cca. 90 kW.

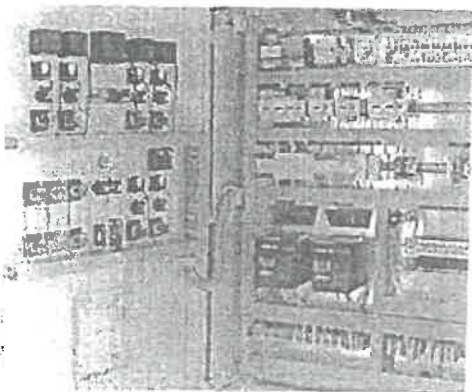
5.2.3.9 Tretiranje mulja

Višak biološkog mulja se pumpa u spremnik za skladištenje mulja. Mulj se prethodno zgušnjava, "bistra" voda se skida i vraća pumpom natrag na denitrifikaciju.

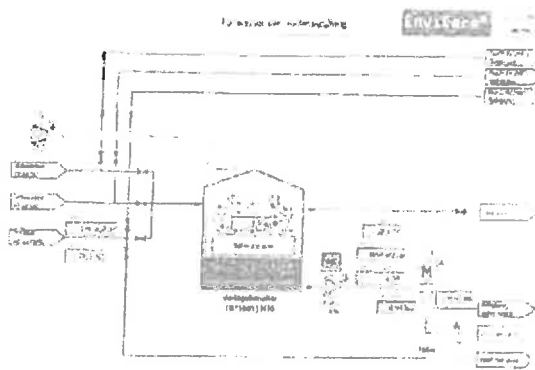
Mulj se transportira bez daljnjeg odvodnjavanja do postrojenja za komunalne otpadne vode Sarajeva. Druga mogućnost može biti ponovno infiltriranje mulja u deponiju zajedno s koncentratom RO.

5.2.3.10 Kontrola procesa

Rad postrojenja je potpuno automatiziran i prati ga nadzorna kontrola i softverski paket za prikupljanje podataka. Time se omogućava rad postrojenja iz kontrolne sobe i putem interneta, a također se i bilježe operativni podaci iz procesa. Glavna mreža se formira pomoću In/Out uređaja (SPS).



Razvodni ormar PLC



Vizualni prikaz na standardnom industrijskom PC

Primić



5.3 RO - Reverzna osmoza

Kao što je objašnjeno u tekstu iznad, neophodno je uspostaviti sistem jednostepene reverzne osmoze kako bi se ispunile propisane granične vrijednosti efluenata za HPK, BPD₅; ukupni nitrogen, nitrat i hlorid.

Ovaj sistem je detaljnije opisan u nastavku.

5.3.1 Projektni parametri

Filtrat MBR sistema dovodi se gotovo direktno do sistema za RO bez daljnjeg tretmana, samo je postojeći betonski spremnik za neutralizaciju od 5 m³ integriran između dvije jedinice.

Tabela 17: Projektni parametri jedinice za RO

Dotok		Jedinica	Dotok u RO	Granične vrijednosti efluenata
Protok	Q	m ³ /d	280	-
Provodivost	Prov. (25°C)	μS/cm	9000	-
pH-vrijednost	pH		6,5-8,5	6,5-8,5
Hemijska potrošnja kisika	HPK	mg/L	1200	125
Amonijak	NH ₄ -N	mg/L	20	10
Nitrat	NO ₃ -N	mg/L	200	10
Hlorid	Cl	mg/L	1300	250
Barij	Ba	mg/L	0,1	5
Kalcijum	Ca	mg/L	40	-
Silicij (kao Si)	Si	mg/L	15	-
Stroncij	Sr	mg/L	0,01	-
Temperatura	T	°C	32	-

Za dimenzioniranje jedinice za RO korišten je softver za projektiranje proizvođača membrana. Glavne specifikacije su stepen oporavka od 90%, jednostepena jedinica i membrana za desalinizaciju morske vode (SW).

5.3.2 Opis jedinice za RO

Jedinica se sastoji od sljedećih komponenti:

- Spremnik za neutralizaciju (5 m³)
- Predfiltracija – mrežni filter od 200 μm
- Sistem reverzne osmoze površine membrane od 1.200 m² za morsku vodu, kao elementi disk cijevi, uključujući kontrolni sistem (PLC) i grafički ekran osjetljiv na dodir kao operativno sučelje te uređaj za pohranu podataka.
- Spremnik (40")



5.3.2.1 Spremnik za neutralizaciju i prefiltracija

Filtrat iz MBR se pumpa u postojeći betonski spremnik od 5 m³ u zgradi pogona. S jedne strane, volumen spremnika je odabran kako bi se osiguralo razdvajanje regulacije MBR sistema, a s druge strane, hidrauličko vrijeme zadržavanja je dovoljno kratko da ometa rast mikroba, jer stvaranje mulja može blokirati membranski sustav.

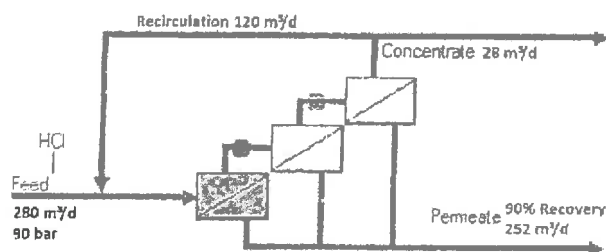
Nizvodni mrežasti filteri s s granicom od 200 µm su redundantni. Stoga, zamjena filterskog medija ne ometa rad postrojenja. Mrežasti filteri garantuju optimalnu zaštitu za fazu RO. Moraju se mijenjati kada gubitak pritiska dosegne vrijednost od 0,2 bara do 0,5 bara. Potreba za promjenom naznači se na kontrolnoj ploči.

5.3.2.2 Sistem reverzne osmoze

Jedinica za RO se sastoji od membrane za morsku vodu (SW) od 1.200 m² u obliku elemenata disk cijevi (DT). Ovi moduli su ugrađeni kao modularna sekcijska konstrukcija na konstrukciji okvira. Jedinica je instalirana kao unutarnja instalacija u standardiziranom spremniku.

Prvo se pH filtrata podešava na 6,5 s HCl 33%.

Nakon prefiltracije, filtrat MBR, sa ulaznim pritiskom od do 90 bara, pumpanjem se prebacuje u posude pumpom visokog pritiska. Struktura je postavljena kao tzv. blok-struktura (vidi sliku 37).



Slika 37: Projekt schema jedinice za RO

Na kraju distribucijskog voda (koncentrata) ugrađen je motorizirani ventil za regulaciju pritiska. Oko 120 m³/d koncentrata iz posljednjeg bloka recirkulira se u ukupni ulazni tok kako bi se osigurao potreban protok koncentrata za elemente.

Jedinica za RO s tri bloka ima sljedeće karakteristike:

Tabela 18: Odlike jedinice za RO

Ukupni ulazni tok	280	m ³ /d
Pritisak ukupnog ulaznog toka	< 90	bar
Ukupna površina membrane	1200	m ²
Stopa oporavka	85-90	%
Stopa recirkulacije	120	m ³ /d
Prosječni protok	9	L/(m ² .h)
Protok permeata	252	m ³ /d
Protok koncentrata	28	m ³ /d
Specifična potrošnja energije	6,1	kWh/m ³

Munic



Koncentriranjem MBR filtrata približava se stepenu topivosti određenih spojeva (npr. BaSO_4 , CaSO_4 , SiO_2). Kako bi se spriječilo taloženje na membrani, mogu biti potrebna sredstva protiv brtvljenja.

Permeat će se pohraniti u spremnik za permeate, koji je integriran u spremnik od 40 inča.

Ako se nominalni protok permeata više ne može postići regulacijom pritiska, dovod sirove vode se podešava (smanjuje) dok se ne postigne dopušteni minimalni protok permeata. Nakon postizanja minimalnog protoka permeata, započinje se ciklus čišćenja modula.

Koncentracija otpadne vode ima za cilj minimiziranje volumena koncentrata koji se mora odlagati. Međutim, koncentracija procjednih voda je ograničena zbog topivosti iona koji stvaraju tvrdoću u vodi.

Potrebne su sljedeće komponente:

- Distribucija niskog napona
- Konverter frekvencije
- Mjerni uređaji
- Pumpa visokog pritiska
- Odjeljak modularnog bloka s 1.200 m^2 strukture elemenata disk cijevi u posudama pod pritiskom
- Regulator pritiska
- Spremnik za vodu permeata s pumpom za permeat
- Pneumatski (ručni) regulacijski ventili
- Cjevovod postrojenja (materijal niskog pritiska: PVC; materijal visokog pritiska: nehrđajući čelik)
- Kontrolna kutija, kontrola procesa, panel-PC s ekranom osjetljivim na dodir
- Sistem za čišćenje
- Dovod zraka pod pritiskom
- Sistem doziranja

Kontrolni sistem omogućava vizualizaciju sistema i mogućnost pohranjivanja podataka. Postrojenjem se može daljinski upravljati putem telefonske ili mrežne veze.

5.3.2.3 Sistem za čišćenje

Jednostavno čišćenje je bitna funkcija ovog membranskog filtracijskog sistema unakrsnog protoka. Čak i sa DT modulom, zaprljanja na membrani se ne mogu uvijek izbjeći. Anorgansko onečišćenje, npr. kristalizacijom, naziva se "taloženje na membrani", organsko onečišćenje naziva se "zaprljanje membrane". Odgovarajućim procesnim inženjeringom i korištenjem visokokvalitetnih komponenti, talozi na površini membrane se mogu učinkovito dogoditi i kasnije ukloniti.

Posebna prednost DT modula leži u sistemu otvorenih kanala. Otpadna voda prolazi kroz ravne kanale minimalne visine od $500 \mu\text{m}$. Zaprljanja se mogu odvojiti sredstvima za čišćenje i učinkovito ukloniti iz modula. Mreže nisu potrebne u DT modulima, jer su najvažniji dio spiralnih modula koji održava modul u stabilnom geometrijskom obliku. Ove mreže su jezgra nepovratnog zaprljanja i taloženja unutar modula.

Jedinice su opremljene unutarnjim sistemom za cirkularno čišćenje koji se može aktivirati automatski ili ručno. Čišćenje modula može se uraditi na tri različita načina, ovisno o vrsti membranskog taloga/zaprljanja procjednim vodama. Potrebna sredstva za čišćenje dovode se preko stanica za doziranje koje su konstruirane za minimalnu potrošnju.



Visoko učinkovita sredstva za čišćenje garantiraju maksimalnu stabilnost procesa i minimiziraju uticaj na membrane kako bi se obezbijedio dug vijek trajanja sistema.

Tabela 19: Sredstva za čišćenje za jedinicu za RO

Sredstvo za čišćenje	funkcija
Alkalno sredstvo za čišćenje jedinice za RO	Alkalni čistač, protiv zaprljanja membrane
Agent za čišćenje jedinice RO na bazi kiseline	Čistač na bazi kiseline, protiv taloženja, Kompleksni spojevi Ca-i Fe-

5.3.2.4 Sistem spremnika za RO

Potrebni su sljedeći spremnici:

Tabela 20: Sistem spremnika – jedinica za RO

Funkcija	Broj	Vol. [l]	Dizajn
Spremnik za neutralizaciju	1	5000	Postojeći betonski spremnik
Doziranje alkalnog sredstva za čišćenje	1	250	HDPE s jednim zidom
Doziranje sredstva za čišćenje na bazi kiseline	1	250	HDPE s jednim zidom
Doziranje NaOH	1	2.000	postojeći spremnik
Spremnik za permeat uklj. odmašćivač	1	4.000	HDPE s jednim zidom
Spremnik za koncentrat	1	4.000	HDPE s jednim zidom

5.3.2.5 Spremnik za RO

Postrojenje je ugrađeno u izolirani i temperaturno kontrolirani spremnik od 40 inča. Instalacijski radovi na lokaciji svedeni su na minimum.

Tabela u nastavku sadrži relevantne brojeve i mjere:

Tabela 21: Karakteristike jedinice spremnika za RO

	Broj	Dužina	Širina	Visina
Spremnik od 40"	1	12.120 mm	2.438 mm	2.891 mm

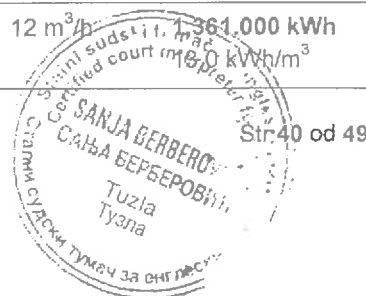
5.4 Sažetak podataka o MBR-RO

5.4.1 Potrošnja energije

Komponenta	P _{rad}	P _{konekcija}	Kapacitet	Max. kapacitet	Godišnji nivo
MBR postrojenje	109 kW	133 kW	105.120 m ³ /a	12 m ³ /h	720.000 kWh
Specifični energetske zahtjevi MBR					6,9 kWh/m ³
Faza RO	69 kW	90 kW	105.120 m ³ /a	12 m ³ /h	641.000 kWh
Specifični energetske zahtjevi NF					6,1 kWh/m ³

MBR-RO ukupno	223 kW	105.120 m ³ /a	12 m ³ /h	1.361.000 kWh
Specifični energetske zahtjevi MBR				12,0 kWh/m ³

Munić



5.4.2 Potrošnja hemikalija

Za rad MBR-RO postrojenja biće potrebne sljedeće hemikalije:

• Acetatna kiselina 80% (izvor C)	0,65 kg/m ³	ili 68,000 kg/a
• P-izvor (gnojivo)	0,086 kg/m ³	ili 9,000 kg/a
• Limunska kiselina	9,5 g / m ³	ili 1.000 kg/a
• Natrijev hipohlorit	3,8 g/m ³	ili 400 kg/a
• Hlorovodična kiselina HCl 33%	1 kg/m ³	ili 105.120 kg/a
• Natrijev hidroksid NaOH 20%	0,1 kg/m ³	ili 10,512 kg/a
• Alkalno sredstvo za čišćenje	0,024 kg/m ³	ili 12,000 kg/a
• Sredstvo za čišćenje na bazi kiseline	0,002 kg/m ³	ili 1,200 kg/a

5.4.3 Investicijski troškovi

Komponente MBR	Neto troškovi
Stanica za primanje	18.900,00
Stanica za testiranje	13.500,00
Mjerenje protoka	2.100,00
Primarna sedimentacija	6.800,00
Denitrifikacija	39.200,00
Nitrifikacija + MBR	294.400,00
Oprema	85.200,00
Opskrba nutrijentima i sredstvo protiv pjenjenja	6.800,00
Spremnik za mulj	27.000,00
Električne instalacije + kontrola	135.000,00
Mjerenja	46.200,00
Sistem za ponovnu infiltraciju koncentrata	27.000,00
Vanjski pogoni	94.500,00
Prevoz i građevinski radovi na lokaciji	81.000,00
Inženjerstvo i nadzor	83.500,00
Pokretanje, obuka i upravljanje	27.000,00
Dokumentacija	13.500,00
Nepredviđeni troškovi (10%) *	49.400,00
Ukupni troškovi MBR	€ 1.051.000,00
Jedinica za RO	€581.000,00
Ukupni investicijski troškovi	€ 1.632.000,00
Linearna amortizacija (15 godina)	€ 108.800,00/a

Prema fazi preliminarne planiranja, 10% se dodaje stavkama MBR za pokrivanje nepredviđenih troškova.

Troškovi poreza i PDV-a nisu uvršteni u ovaj izračun.

Primić



5.4.4 Operativni troškovi

Operativni troškovi izračunavaju se na osnovu stvarnog opterećenja i protoka od 12 m³/h ili 288 m³/d, a odgovarajući parametri navedeni su u poglavlju 5.1. Pretpostavlja se da je godišnji iznos cca. 105 120 m³.

Za izračun u nastavku specifični troškovi za hemikalije uzeti su u obzir s austrijskim cijenama i dodan je dodatni iznos od 20%.

Zbog činjenice da se cca. 10% koncentrata mora ponovno infiltrirati u tijelo deponije, a hidraulička količina procjednih voda će se povećati u skladu s tim sa cca. 250 m³/d na 288 m³/d, dok će s druge strane organsko opterećenje (koje je uglavnom relevantno za projektne i operativne troškove MBR) ostati stabilno. Navedeno je predstavljeno u izračunu u nastavku:

MBR	Količina	Specifični troškovi	Suma
Potrošnja električne energije	720.000 kWh/a	0,10 €/kWh	€ 72.000,00
80% acetatna kiselina (izvor C)	68.000 kg/a	2,00 €/m ³	€ 136.000,00
Gnojivo (izvor P)	9.000 kg/a	1,20 €/kg	€ 10.800,00
Limunska kiselina	1.000 kg/a	3,20 €/kg	€ 3.200,00
Natrijev hipohlorit (NaOCl)	400 kg/a	1,20 €/kg	480,00
Odlaganje mulja	2.700 t/a	8,00 €/t	€ 21.600,00
Zamjena membrana	1.600 m ²	60,0 €/m ²	€ 19.200,00
Osoblje	2 radnika	20.000 €/osoba	€ 40.000,00
Potrošni i rezervni dijelovi		4%	€ 42.040,00
Operativni troškovi MBR na godišnjem nivou			€ 345.320,00

RO faza DT	Količina	Specifični troškovi	Suma
Potrošnja električne energije	641.000 kWh/a 2d (1.200	0,100 €/kWh	€ 64.100,00
Zamjena membrana, vrijeme trajanja izračunato (1200m ² DT) za 3 godine:			
Zamjena membrana	1.200 m ²	108 €/m ²	€ 43.200,00
Alkalno sredstvo za čišćenje membrane	12.000 kg/a	5,50 €/kg	€ 66.000,00
Sredstvo za čišćenje membrane na bazi kiseline	1.200 kg/a	7,00 €/kg	€ 8.400,00
Potrošnja kiseline (HCl 33%)	105.100 kg/a	0,30 €/kg	€ 31.530,00
Natrijev hidroksid (NaOH 20%)	10.500 kg/a	0,70 €/kg	€ 7.350,00
Osoblje	0,75 radnik	20.000 €/osoba	€ 15.000,00
Potrošni i rezervni dijelovi			€ 7.840,00
Operativni troškovi RO na godišnjem nivou			€ 243.420,00

MBR/RO	Ukupni operativni troškovi/god	€588.740,00
Linearna amortizacija (poglavlje 5.4.2) za investicijske troškove	period: 15 god	108.800,00
Ukupni godišnji troškovi MBR/RO		€ 697.540,00
Specifični troškovi vezani za dotok otpadnih voda	105.120 m ³ /a	6,64 €/m ³

Impric



5.4.5 Dijagram osnovnog procesa protoka

Crteži su priloženi u Dodatku 7.2.

6 Zaključci i preporuke

6.1 Ograničenje efluenta za nitrata

Stroga granica efluenta od 10 mg/L za nitrat-N znatno je niža nego u Austriji (35 mg/L) i većini evropskih država.

Iako je nitrat jedva prisutan u procjednim vodama, on nastaje tokom oksidacije amonijaka. Sadržaj $\text{NH}_4\text{-N}$ je približno 800 mg/L i prema bilansu mase, oksidira se do oko 700 mg/L $\text{NO}_3\text{-N}$. Nitrat se zatim reducira u denitrifikacijskoj fazi korištenjem lako razgradivog izvora ugljika (BPK) do stepena od cca. 70% da bi se formirao N_2T . Dakle, sadržaj od približno 200 mg/L nitrata-N će ostati u efluentu biološkog tretmana.

Nadalje, zadržavanje nitrata na membrani za RO nije sasvim dovoljno da dostigne tražena vrijednost praga.

U svakom slučaju, viša/tolerantnija granica efluenta za nitrata olakšala bi situaciju i dugoročno operiranje.

Prikazani koncept MBR-RO temelji se na pretpostavci da nadležni organ dodjeljuje graničnu vrijednost za Nitrat-N od 35 mg/L.

6.2 Taloženje

Prema dostupnim analitičkim podacima, taloženje uzrokovano elementima Ba, Si, Sr i Ca može postati operativni problem, posebno korištenjem spiralnih membrana s visokim stepenom oporavka.

Kao što smo vidjeli iz pilot ispitivanja, značajna frakcija ovih elemenata se taloži tokom biološkog tretmana i povlači integriranom ultrafiltracijom MBR (vidi Tabelu 12). Dakle, čak i kod 5-struke koncentracije, granice topivosti nisu prekoračene.

Preporučujemo instalaciju sistema reverzne osmoze s DT dizajnom za post-tretman nakon MBR, jer je DT dizajn daleko manje osjetljiv na blokiranje/taloženje uzrokovano ovim elementima. DT dizajn osigurava dobro definiranu brzinu poprečnog protoka kroz površinu membrane i izbjegava prekoračenje granice topivosti gdje dolazi do taloženja.

Naravno, DT dizajn je skuplji od standardnih spiralnih modula, ali prema našem iskustvu, stabilan rad može se garantovati samo ovom tehnologijom.

6.3 Ponovna infiltracija koncentrata

Određeni parametri dotoka i efluenta strogo zahtijevaju upotrebu membranskih procesa, koji su neizbježno povezani s proizvodnjom koncentrata koji se odlaže.

Dokazana je činjenica da se ovaj koncentrat desetljećima može ponovno infiltrirati u tijelo deponije, ako se ispune sljedeći preduslovi:



- Minimalni iznos (u ovom slučaju $<40 \text{ m}^3/\text{d}$)
- Kontrolirano ubrizgavanje u tijelo deponije
- Profesionalno održavanje i rad

6.4 Opskrba električnom energijom

Postrojenje velikih razmjera zahtijevat će opskrbu električnom energijom od cca. 250 kW.

6.5 Stanje bazena

Do sada smo pretpostavljali da je stanje postojećih bazena dovoljno dobro za daljnje korištenje. U svakom slučaju, biće potrebna procjena stručnjaka.

6.6 Logistika

Odlaganje viška biološkog mulja u postrojenje za komunalne otpadne vode treba predvidjeti u iznosu od cca. $3 - 8 \text{ m}^3/\text{d}$. Vjerovatno se i mulj također može ponovno infiltrirati u deponiju.

Ako imate bilo kakvih pitanja, slobodno nas kontaktirajte.

Grac, 24.10.2018.god.

S poštovanjem,

/potpis/

Dr. Bernhard Mayr

/potpis/

Teresa Garstenauer, MSc

Skraćenice:

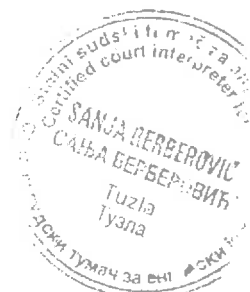
HPK – Hemijska potražnja za kisikom

ST - Sadržaj suhe mase

LSP - postrojenje velikih razmjera

MBR - membranski bioreaktor

RO - reverzna osmoza



7 Dodaci

7.1 Izvještaji analiza – CLUG

7.1.1 Izvještaj U18/0920, 20.06.2018



Sanja Berberović

7.1.2 Izvještaj U18/1184, 10.08.2018

Amir



7.1.3 Izvještaj U18/1303, 06.09.2018.



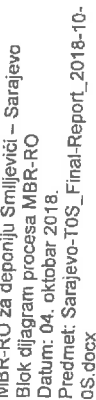
Str 47 od 49

Amic

7.2 Schema MBR-RO



Sanja Derberovic



Envicare® Engineering GmbH
/tekst na njemačkom jeziku/
Tel: +43/316/38 10 38-0 Faks:
www.envicare.at office@envicare.at

Potvrđujem da ovaj prijevod potpuno odgovara izvorniku koji je sastavljen na
Broj Dnevnika: 1/19
Tuzla, 01.07.2019. god.

Sanja Berberović,
stani sudski tumač za engleski jezik

stani sudski tumač za engleski jez.

