

PREČIŠĆAVANJE PROCJEDNIH VODA – REZULTATI RADA PILOT UREĐAJA KAO POMOĆ PRI IZBORU TEHNOLOGIJE ZA PREČIŠĆAVANJE

Amra SERDAREVIĆ
Građevinski fakultet, Univerzitet u Sarajevu, BiH

REZIME

Regionalne sanitarne deponije i centri za upravljanje otpadom, u čijem sklopu su predviđene i sanitarne deponije, strateško su opredjeljenje u pogledu upravljanja komunalnim otpadom u Bosni i Hercegovini. Rad sanitarne deponije prati produkcija deponijskog plina i deponijskih procjednih voda. Kako bi se ispunili okolinski uvjeti, obaveza svake deponije je minimiziranje štetnih utjecaja na okoliš. Procjedne vode sanitarnih deponija su teško opterećene otpadne vode, koje mijenjaju svoj sastav i količinu u zavisnosti od starosti deponije, načina odlaganja, vrste otpada i hidroloških uvjeta. Izbor odgovarajuće tehnologije za prečišćavanje procjednih voda jedan je od najvažnijih koraka u rješavanju problema procjednih voda. Na sarajevskoj sanitarnoj deponiji, u periodu 2008-2011, instalirano je i pušteno u pogon prvo postrojenje za tretman procjednih voda, zasnovano na tehnologiji biološkog prečišćavanja sa membranskom tehnologijom separacije aktivnog mulja (MBR). Zbog niza okolnosti koji su dešavali u toku projektovanja, izvođenja i puštanja uređaja u rad, postrojenje je kratko bilo u pogonu. Trenutno stanje na sarajevskoj deponiji u pogledu procjednih voda je i dalje neriješeno. Evidentan je uticaj procjednih voda na recipijent (potok Lepenica). Vlada Kantona Sarajevo započela je 2016. godine petogodišnji projekt rekonstrukcije sanitarne deponije i svih pratećih objekata. Jedan od planiranih zadataka je ponovno uspostavljanje procesa prečišćavanja procjednih voda. U tu svrhu, razmatrano je nekoliko opcija za prečišćavanje procjednih voda, a 2018. instalirano je i pilot postrojenje za određivanje sastava procjednih voda i testiranje biološkog procesa prečišćavanja. U ovom radu prikazane su opcije koje su razmatrane kao i proces testiranja i rezultati rada pilot postrojenja.

Ključne riječi: MBR – membranski bioreaktor, procjedne vode, zaprljanje membrana, tehnologije

UVOD

Metoda odlaganja otpada na sanitarne deponije, kao opcija za konačno zbrinjavanje komunalnog otpada, i dalje je široko prihvaćena metoda kao optimalno rješenje u mnogim zemljama [1]. Tendencija odlaganja otpada na deponije, uz minimalne negativne efekte po stanovništvo i okoliš propisano je nizom zakonskih akata kao i okolinskim dozvolama. Međutim, nusprodukti rada deponije su i dalje veoma opasni po okoliš i ljude, a rješavanje problema koje prouzrokuju iziskuju složene projekte i dosta finansijskog ulaganja. Procjedne vode koje nastaju uglavnom procjeđivanjem oborina kroz slojeve odloženog otpada karakterišu visoke koncentracije organskih i anorganskih zagađivača, uključujući huminske kiseline, amonijak, teške metale, ksenobiotike i neorganske soli [2]. Obradivost procjedne vode zavisi od njenog sastava i karakteristika, na koje utiče vrsta otpada i starost deponije. Procjedne vode iz odlagališta su veoma zagađene otpadne vode. Tretiranje procjednih voda iz odlagališta veliki je izazov zbog visokih i promjenjivih koncentracija zagađivača. Procjedne vode sa odlagališta ispuštaju se direktno u prirodne recipijente ili u sisteme javne odvodnje, do gradskih uređaja za tretman otpadnih voda. U oba slučaja neophodno je ispuniti uvjete propisane zakonskim aktima [3]. Pooštravanje kriterija u pogledu ispuštanja otpadnih voda u vodna tijela ili u sistem javne odvodnje otpadnih voda, posebno za hranjive materije, dovelo je da izmjene i nadogradnje postojećih uređaja na deponijama. Kao jedna od opcija uvodi se predtretman procjednih voda prije ispuštanje u kanalizaciju. Biološki tretman otpadnih voda dokazana je tehnologija za uklanjanje organskih materija i amonijaka u komunalnim otpadnim vodama, dok se za procjedne vode iz novih i starih deponija biološko prečišćavanje mora uzeti sa dodatnom dozom ograničenja, sa primjenom kombinovanih tehnologija. Procjedne vode starih deponija veoma je teško tretirati konvencionalnim biološkim procesima,

uglavnom zbog prisustva teško razgradljivih organskih spojeva, žive, hlorida, sulfida, visokih koncentracija amonijaka. Uprkos tome, osnova procesa koji se primjenjuju i dalje se zasniva na biološkom prečišćavanju, prvenstveno radi pouzdanosti, robusnosti u pogonu, ali i zbog smanjenje troškova pogona ostalih tehnologija (reverzna osmoza i sl.) koje se kombinuju.

TEHNOLOGIJE ZA PREČIŠĆAVANJE PROCJEDNIH VODA

Za tretman procjedenih voda širom svijeta primjenjuju se različite tehnologije, a objavljeno je mnoštvo članaka sa rezultatima i iskustvima u radu različitih postrojenja [4,5]. Generalno, kroz objavljena istraživanja i rezultate pogona postojećih uređaja za prečišćavanje procjedenih voda provlače se slična iskustva i zaključci. U prvom redu to su zaključci o složenosti procesa u pogledu karakterizacije procjedenih voda, zbog promjenjivosti karakteristika procjedenih voda u zavisnosti o vrstama otpada koji se odlaže, starosti i veličini deponije. Druga slična opažanja su vezana za složenost tehnologije i pogona, te značajne troškove održavanja uređaja. Autori se vrlo često osvrću na složene postupke prečišćavanja, velike količine hemikalija potrebnih za održavanje biološkog prečišćavanja ili membrana u pogonu, a tu su i problemi sa potrošnjom električne energije, rezervnim dijelovima, zamjenom filtera, membrana i sl. Sve ovo je primjenjivo i na deponiji i dosadašnja iskustva u tretmanu procjedenih voda u BiH.

Karakterističan sastav procjedenih voda, u odnosu na starost deponije, prikazan je u Tabeli 1.

Tabela 1. Karakteristike filtrata u odnosu na starost deponije [4]

KARAKTERISTIKE PROCJEDNIH VODA U ODNOSU NA STAROST DEPONIJE			
	Nove deponije	Srednje stare deponije	Stare deponije
Starost (godina)	< 5	5-10	> 10
pH	< 6.5	6.5-7.5	> 7.5
HPK (mg/L)	> 10000	4000 - 10000	< 4000
BPK ₅ /HPK	> 0.5	0.1-0.5	< 0.5
TOC/HPK	< 0.3	0.3-0.5	> 0.5
NH ₄ -N (mg/L)	> 2000	< 2000	< 2000
Organske materije	> 80% Volatilne masne kiseline	5-30% Volatilne masne kiseline, ostatak huminske i fulvinske kiseline	Huminske i fulvinske kiseline
Teški metali (mg/L)	Niske /srednje koncentracije (> 2000)	Niske koncentracije (< 2000)	Niske koncentracije (< 2000)
Biorazgradljivost	Dominantna	Srednje izražena	Niska

Kako odabrati tehnologiju za tretman procjedenih voda, a da zadovoljava kriterije za efluent, uz male pogonske troškove te jednostavno održavanje?

Preporuke iz literature, za uspješno rješavanje problema procjedenih voda, odnose se vrlo često na uvođenja mjera za smanjenje količina filtrata kao jednu od najznačajnijih aktivnosti, zatim pokrivanje ploha deponija te ispušt obrađenih procjedenih vode u sisteme javne odvodnje. Primjena takvih mjera i iskustva koja se opisuju u literaturi su početna aktivnost ka izboru tehnologije prečišćavanja procjedenih voda i izgradnji uređaja za tretman. Nakon razmatranja i uvođenja navednih mjera, provodi se monitoring za određivanje sastava i količina procjedenih voda koje je potrebno tretirati na uređaju. Nakon toga se pristupa analizi raspoloživih tehnologija. U nastavku se daje pregled nekoliko opcija koje su primjenjive na deponijama u BiH i regiji.

Najčešće zastupljena tehnologija prečišćavanja procjedenih voda je zasnovana na biološkom tretmanu, kakav se standardno primjenjuje za sekundarno prečišćavanje komunalnih otpadnih voda, pokazao se nedovoljno učinkovitim za prečišćavanje procjedenih voda sa starih deponija koje imaju visok sadržaj teško razgradljivih organskih spojeva. Tako se u literaturi pominju primjeri primjenjenih bioloških postupaka za tretman procjedenih voda [5,6,7] u kombinaciji sa različitim fizičko-hemijskim tehnologijama, uključujući napredne procese oksidacije. Teškoća postizanja tehničke i ekonomske održivosti korištenjem jednog tretmana preporučuje kombinaciju nekoliko tehnologija u tu svrhu. Tako se vrlo često u praksi kombiniraju biološki postupci sa fizikalno-hemijskim i mehaničkim postupcima te naprednim tehnologijama kao što su membranska filtracija te reverzna osmoza. Iako se rad ne bavi predstavljanjem različitih tehnologija i efektima prečišćavanja za procjedne vode, u nastavku se daje osvrt na nekoliko tehnologija koje se najčešće susreću i kombiniraju za tretman procjedenih voda.

1. Biološki tretman: veoma često je primjenjen za tretman komunalnih otpadnih voda i primjenjuje se za uklanjanje biorazgradljivih organskih spojeva i nešto amonijevog dušika. Međutim, procjedne vode starih deponija sadrže veliki procenat teško razgradljivih organskih materija (npr. kao huminske kiseline ili tenzidi) zajedno sa specifičnim otrovnim jedinjenjima poput PAH -a, AOX -a i PCB -a [6] što je nemoguće ukloniti klasičnim biološkim prečišćavanjem sa aktivnim muljem (konvencionalna postrojenja sa aktivnim muljem, SBR). Klasični pristup biološkog

prečišćavanja sa aktivnim muljem u slučaju procjednih voda starih deponija mora pratiti prilagođavanje i podešavanje procesa uvjetima koje diktira sastav i količine otpadne vode koje dolaze na postrojenje. Zbog toga se već niz desetljeća pokušava biološki proces upotpuniti sa drugim tehnikama i tehnologijama kako bi se postigli pouzdani uvjeti pogona, uz održivost postrojenja u financijskom i operativnom smislu. Tako se biološkim jedinicama dodaju fizičko-hemijske ili mehaničke jedinice, uz kontinuirano praćenje i podešavanje biološkog prečišćavanja,

2. Napredni oksidacijski procesi (fenton i dr.): koriste se za uklanjanje većine organskih materija kao i uklanjanje boje (huminske kiseline), dodavanjem vodikovog peroksida kataliziranog solima željeza. Ova mješavina potiče pojavu hidroksilnih radikala, vrsta koje pružaju veliki oksidacijski potencijal [8]. Međutim, ova tehnologija nije učinkovita za organske kiseline i uklanjanje amonijaka, kao ni hlorida [8]. Pored toga, Fenton proces je vrlo zahtjevan za provođenje jer je potrebno provesti promjene pH vrijednosti, zatim stvara se velika količina taloga koji je potrebno adekvatno zbrinuti.

3. Elektrohemijska oksidacija: kombinira se kao korak poliranja u uklanjanju zaostalog HPK-a i amonijaka. Razgradnja toplotne kompo-funte odvija se uglavnom posrednim procesima oksidacije pomoću hipoklorita nastalog oksidacijom kloridaniona prisutnih u procjednim vodama

4. Membranski bioreaktor (MBR): pokazao se kao alternativa koja se počela intenzivnije primjenjivati u tretmanu procjednih voda zadnje dvije decenije. Funkcija membrana u sklopu MBR -a omogućava zadržavanje aktivnog mulja u reaktoru, te održavanja visoke koncentracije biomase, što rezultira efikasnim sistemom biološke digestije. Kao rezultat toga, postižu se izvrsni rezultati uklanjanja organskog zagađenja, uklanjanje amonijaka od 90% ili više, uz znatno kraće hidrauličko vrijeme zadržavanja (HRT) i mnogo veću stopu organskog opterećenja u usporedbi s konvencionalnim biološkim sistemima. Međutim, zbog specifičnosti procjednih voda, biološki tretman, osobito za filtrat iz starih deponija, se mora optimizirati i prilagoditi tako da se uspostavi i održi povoljan odnos BPK/HPK za biološko prečišćavanje.

Razvoj MBR uređaja, poput anaerobnog MBR-a i MBR-a dopunjenog PAC-om (aktivni uglj u prahu) pokazao je velike potencijale u poboljšanju pogona

MBR uređaja za filtrate iz starih deponija. MBR uređaji u kombinaciji sa dodatnim jedinicama mogu pružiti stabilne performanse, uz prilagođavanje velikim varijacijama u sastavu dotoka i drugim radnim uslovima. Međutim, kroz literaturu i iskustva u radu uređaja utvrđeno je da kratko vrijeme zadržavanja otpadne vode, visoke koncentracije amonijaka, nizak odnos BPK₅/HPK, te dugo vrijeme zadržavanja mulja u sistemu imaju negativne učinke na pogon postrojenja i kvalitet efluenta, pa se o tome mora voditi računa pri primjeni ove tehnologije za tretman procjednih voda.

5. Reverzna osmoza (RO): savremena tehnologija zasnovana na separaciji pomoću osmotskog pritiska najbolja je dostupna tehnologija za prečišćavanje procjednih voda iz odlagališta.. Vrijednost parametara efluenta koje se mogu dobiti primjenom reverzne osmoze su izvan onoga što se može postići s bilo kojim drugim postupkom. Primjenjivost reverzne osmoze (RO) ograničena je veličinom osmotskog pritiska, a time i produkcijom koncentrata koji se vraća u tijelo deponije. U prosjeku, količina koncentrata koji se mora vratiti u tijelo deponije iznosi cca. 10-15% količine filtrata (ali nekada i do 50%), u zavisnosti i od količine procjednih voda. Retenat koji se vraća u tijelo deponije sadrži značajne količine soli koje se vraćaju u tijelo deponije. Vremenom dolazi do značajnog pogoršanja sastava procjednih voda. Visok sadržaj soli u procjednim vodama rezultira vrlo visokim transmembranskim pritiscima, a time se zahtijevaju i vrlo velike količine električne energije za rad uređaja, te proširenje kapaciteta postrojenja u toku pogona, kontinuirano. Za procjedne vode je vrlo bitno odrediti sastav (HPK, Cl, elektroprovodljivost, koncentracije Si, Br) i količine procjednih voda kako bi se pripremili ulazni parametri za projektovanje RO postrojenja. Nečistoća i začepljenje membranskih uložaka ograničava primjenu membranskih tehnologija, pa tako i RO. Zbog toga se RO još uvijek rijetko primjenjuje bez prethodnog predtretmana sa MBR postrojenjima i sl, kako bi se moduli RO postrojenja što više očuvali i zaštitili.

Ostali postupci kao što su evaporacija, hemijsko – fizički postupci: oksidacija, redukcija, precipitacija/flokulacija, jonska izmjena, air-stripping, adsorpcija na aktivnom uglju, ozonizacija i dr. rijetko se primjenju za tretman procjednih voda. Primjena se ograničava na uklanjanje anorganskih spojeva ili organskog zagađenja koje ne može biti uklonjeno drugim postupcima (biološkim prečišćavanjem). Primjena ovih postupaka iziskuje dodatnu složenost pogona i značajne troškove rada uređaja. U slučaju da je potrebno primijeniti neki od

postupaka, obično se primjenjuju kao predtretman ili nakon drugih faza prečišćavanja, na kraju ciklusa. Vrlo često problem predstavlja zbrinjavanje taloga ili nusproizvoda ovih postupaka koji su veoma zagađeni i postaju problem daljeg zbrinjavanja (npr. zbrinjavanja isključivo u spalionicama i sl.). Ograničenje za primjene je i količina filtrata, te klimatski uvjeti gdje se ove metode primjenjuju.

Tabela 2. Efikasnost procesa u prečišćavanju proceđnih voda [4]

Proces	TSS	BPK ₅	HPK	TN	NH ₄ -N	Teški metali	AOX	Soli
Biolško prečišćavanje	-	+	(+)	(+)	(-)	(-)	(-)	-
Adsorcija aktivnim ugljem	-	(-)	+	-	-	(-)	+	-
Sedimentacija/flotacija	(+)	(-)	(-)	-	-	(+)	(-)	-
Filtracija/ultrafiltracija	+	(-)	(-)	(-)	-	(+)	(-)	-
RO	(+)	+	+	+	(+)	+	+	+
Air stripping	-	(-)	(-)	-	+	(-)	(+)	-
Hemijska oksidacija	-	(-)	+	(-)	(+)	-	(+)	-
Evaporacija	+	+	+	(+)	(-)	+	+	+

(-) niska efikasnost

(+) primjenjivo uz ograničenja/dodatne zahtjeve ili upozorenja na opasnosti

Složenost izbora tehnologije, osobito uz različita ograničenja i oscilacije u sastavu i količinama proceđnih voda, čini izbor adekvatne tehnologije izuzetno složenim zadatkom. Uređaji imaju visoke investicione troškove, ali ništa manje značajni nisu ni troškovi pogona i stepen složenosti održavanja uređaja. Potrebno je naglasiti i osposobljenost operatera za vođenje postupka prečišćavanja i kontinuiranih provjera i podešavanja sistema. Kao ilustracija prethodno navedenih tehnologija, u tabeli 2 prikazane su raspoložive tehnologije koje se najčešće koriste za prečišćavanje proceđnih voda i primjenjivost tehnologije u odnosu na pojedine parametre onečišćenja proceđnih voda [4,5].

PREČIŠĆAVANJE PROCJEDNIH VODA NA SANITARNOJ DEPONJI U SARAJEVU

Regionalna deponija „Smiljevići“ u Sarajevu je najveća deponija komunalnog otpada u BiH, sa godišnjom količinom komunalnog otpada oko 200.000 tona. Procjedne vode se prikupljaju drenažnim sistemom, postavljenim ispod i iznad multibarijerne zaštite. Količina proceđnih voda varira u zavisnosti od hidroloških uvjeta, vrste otpada koji se odlaže i načina

upravljanja deponijom (kompaktiranje otpada, dnevne prekrivke, pokrivanje deponije i dr.).

Količine proceđnih voda se kreću u prosjeku oko 3,5 l/s. Procjedne vode karakterišu visoke koncentracije teško razgradljivih organskih jedinjenja (HPK prosječno oko 2000 mg/L), amonijaka (NH₄-N prosječno oko 800 mg/L), hlorida (C), kao i nešto povećane vrijednosti žive, silicija, bora, ukupnih suspendovanih materija (Hg, Si, Br, TSS) i parametara koji se odnose na toksičnost ovih voda.

Prvi pokušaji da se procjedne vode kontrolirano prikupe su počeli sa pretvorbom deponije u sanitarnu deponiju. Tako se početkom 2000-tih počelo sa monitoringom proceđnih voda, projektovanjem i izgradnjom prvog uređaja za tretman proceđnih voda u BiH.

Izabrana je tehnologija biološkog prečišćavanja sa membranskom filtracijom. Iako još u povoju po pitanju iskustava sa tretmanom proceđnih voda, MBR uređaj na Smiljevićima je projektiran za tretman proceđnih voda sa karakteristikama filtrata starih deponija. Uređaj je pušten u pogon 2011. godine, ali je nakon kratkog perioda pogona prestao sa radom. Uzroci su bili višestruki, od izbora opreme i vlakna za membranske uloške, do same konfiguracije uređaja i niza kvarova koji su se desili u vrlo kratkom vremenu [5].

Od 2016. Vlada Kantona Sarajevo pokrenula je niz aktivnosti i projekata na unapređenju pogona i uvjeta rada sanitarne deponije Smiljevići u Sarajevu. Jedan od pokrenutih projekata je bio i ponovno puštanje u rad uređaja za tretman proceđnih voda. Prvi korak je bio da se ispita stanje postojećeg uređaja na lokaciji.



Slika 1. MBR uređaj u pogonu 2008.-2011. na Smiljevićima

Građevinski fakultet u Sarajevu proveo je ispitivanja membrana i ostale opreme MBR uređaja i zaključeno je da su membrane pretrpjele oštećenja tako da njihov oporavak nije moguće izvršiti. Vlada KS i nadležno ministarstvo donijelo je odluku o izvođenju jednogodišnjeg monitoringa procjednih voda, te izbora tehnologije i rekonstrukcije/ projektovanje novog uređaja za prečišćavanje procjednih voda (uz uvjet maksimalnog iskorištenja postojeće opreme i postojećih građevina).

Tako je u januaru 2017. godine predstavljeno nekoliko rješenja, baziranih na biološkom prečišćavanju i membranskim separacionim tehnologijama. Količina procjednih voda za izradu konceptualnih rješenja je iznosila 500 m³/dan.

Koncepti postrojenja koja su predstavljena bili su na bazi dvostepene reverzne osmoze, sa i bez predtretmana, MBR uređaji u kombinaciji sa ultra filtracijom i nano filtracijom, sa adsorpcijom na aktivnom uglju i dr.

Aktivnosti koje su prethodile daljem izboru tehnologija su se odnosile na provođenje monitoringa procjednih voda na lokaciji. Monitoring sastava i količina procjednih voda je uspostavljen i proveden u trajanju od godinu dana, sa veoma složenim i obimnim programom ispitivanja.

Kako bi se što bolje ocjenilo stanje procjednih voda i uspostavljanje procesa prečišćavanja, u periodu od 24. aprila do 30. augusta 2018. provedeno je testiranje biološkog prečišćavanja sa membranskim separacijama. MBR pilot postrojenje je dopremljeno na lokaciju u organizaciji firme EnviCare® Engineering GmbH iz Austrije. U nastavku se daje prikaz pogona i rezultati rada provedenog eksperimenta na MBR pilot uređaju.

ZADATAK I CILJ RADA PILOT UREĐAJA

Glavni cilj u fazi pilot testiranja su analize i rezultati koji bi trebali biti uključeni u koncept projektovanja i određivanja tehnoloških parametara velikog postrojenja, te omogućiti precizno mjerenje na terenu za buduće postrojenje. Pored tehnoloških prednosti, investicijski i tehnički rizik se na taj način može odgovarajuće smanjiti.

Na slici 2. prikazano je kontejnersko postrojenje, instalirano pored postojećih bazena za prikupljanje procjednih voda na Smiljevićima, na sarajevskoj

sanitarnoj deponiji, u periodu april – august 2018. godine.

Testiranja rada pilot uređaja odnosio se na sljedeće zadatke:

- Definiranje vrste i širine okna za predtretman.
- Ocjenjivanje biorazgradivost (HPK) i kapacitet denitrifikacije / nitrifikacije procjednih voda.
- Potrebe za spoljnim izvorom ugljika.
- Uspostavljanje suhe materije u MBR-u, konzistencija i ponašanje mulja/ isušivanje mulja.
- Potrebe za kisikom za rad bioprocasa i membrana.
- Uticaj tvrdoće ili metalnih soli na aspekta protoka, zaprljanja i kamenca u radu membrana.
- Određivanje vrijednosti fluksa i propusnosti upotrijebljenih membrana.
- Uticaj temperature na biologiju i rad membrana.
- Napajanje postrojenja.
- Količina proizvedenog mulja.
- Koncentracije emisije polutanata u filtratu.
- Formiranje pjene i kontrola stvaranja pjene.

Kako bi se procijenili gore navedeni aspekti, u toku rada pilot postrojenja provedene su analize u influentu, biološkoj jedinici postrojenja i filtratu (efluentu) postrojenja. Kontinuirana mjerenje su se odnosila na sljedeće parametre: temperatura, provodljivost, različiti protoci i nivoi u bazenu, koncentracije kiseonika, pritisci u membranama.

U pogonskoj laboratoriji na lokaciji određivali su se: pH, HPK, NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N, PO₄-P, suha materija (DS), filtrabilnost, a u laboratoriji u Austriji mjereni su sljedeći parametri: pH, provodljivost, HPK, NH₄-N, NO₃-N, NO₂-N, PO₄-P, Ntot, TOC, Cl, Ca, Si, Ba, Sr). U periodu ispitivanja rada pilot uređaja i izabrane tehnologije, provedena su i mikroskopska ispitivanja aktivnog mulja.

REZULTATI RADA PILOT UREĐAJA

Inicijalne količine mulja (oko 2,5 m³ mulja), za početak rada MBR pilot uređaja, preuzete su sa postrojenja za tretman komunalnih otpadnih voda u Sarajevu. Preostali volumen napunjen je oborinskom vodom iz bazena. Za potrebe uspostavljanja bioloških procesa prečišćavanja uključeni su vanjski izvori ugljika. Evidentirano je sporije uspostavljanje biomase. Kao vanjski izvor ugljika korišteni su šećer i sirćetna kiselina. Koncentracija HPK u dotoku bila je manje -više stabilna u toku cijelog eksperimenta. Stoga je opterećenje postrojenja bilo lako prilagoditi [12].

Za pogon pilot uređaja planirano je da koncentracija aktivnog mulja u biološkom reaktoru dostigne vrijednost od 16 g/L, ali biomasa nije rasla tako brzo kao što se očekivalo, te se željena koncentracija biomase postigla tek nakon četiri mjeseca eksperimenta.

Ovaj spor rast i tendencija mulja da formira vrlo male i lebdeće flokule jasno daje do znanja da se konvencionalni biološki tretman zasnovan na sedimentaciji neće moći uspostaviti bez dodatnih tehnologija. U tu svrhu je i testirana primjenjivost membrana za odvajane mulja.



Slika 2. Kontejnersko pilot postrojenje na Smiljevićima lijevo i MBR pilot uređaj (nitrifikacija lijevo i anoksični dio desno) u pogonu juli 2018.godine [12]



Slika 3. Volumen mulja u Imhoff-ovom konusu, koncentracija suhe mase mulja 11,8 g/L (12.07.2018.) [12]

Iako je rast mulja, tj. prirast biomase tekao sporo, kulture koje su se razvile prilagodile su se uvjetima, tako da procjedne vode nisu bile toksične za te vrste.

Mikrobiološka ispitivanja su utvrdila da u analizi flokule mulja se nalaze različite bakterije, nekoliko viših mikroorganizama (jednostanični eukarioti) i velike količine kolonija *Vorticella convallaria* (vrsta cilijata) [12].

Vrijednost pH u toku eksperimenta varirala je u zavisnosti od uspostavljanja procesa nitrifikacije/denitrifikacije. Toksično djelovanje na biomasu visokih vrijednosti amonijaka i niske vrijednosti pH (ispod 7), u toku trajanja eksperimenta kontinuirano je praćena i potrebi korigirana.

Temperatura u reaktoru se održavala ispod 35°C. Nakon - dana uspostavljen je i proces nitrifikacije i denitrifikacije. Za proces denitrifikacije, u anoksični bazen se ubacivao eksterni izvor ugljika kako bi se proces denitrifikacije uspješno provodio.

Samo odvajanje mulja od vode provedeno je pomoću membrana uronjenih u zaseban bazen. Korišena su ravna membranska platna, PVDF materijala, sa otvorom pora 0.05 μm , ukupne površine 200 m^2 , a membranski flux je bio podešen na $> 10 \text{ L/m}^2\text{,h}$.

ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Izbor tehnologije za prečišćavanje procjednih voda iz deponija komunalnog otpada je vrlo složen i zahtjevan zadatak. Pored obaveznog monitoringa procjednih voda, u dužem vremenskom periodu, obavezno je raspolagati podacima o vrsti i količinama otpada, starosti i veličini deponije, pokrivenosti ploha na kojima se nalazi odloženi otpad, hidrološkim uvjetima i dr. Na osnovu analize ulaznih podataka, a u cilju potvrde izbora tehnologije i podešavanja parametara za projektovanje postrojenja za tretman procjednih voda, poželjno je provesti testiranje pilot uređaja kako bi se utvrdili i podesili ulazni podaci za projektovanje budućeg postrojenja.

U tu svrhu uspostavljen je rad pilot postrojenja za MBR tehnologiju, na sarajevskoj sanitarnoj deponiji, u periodu april 2018.- august 2018.godine. Rad pilot uređaja potvrdio je pretpostavke za probleme pri uspostavljanju i rastu biomase, odnosno složenost vođenja postupaka biološkog prečišćavanja kao osnove u tehnologije za prečišćavanje procjednih voda.

Rast biomase sa ovom vrstom procjednih voda je vrlo spor, ali se kroz rad pilot uređaja pokazao stabilan. Ovo se mora uzeti u obzir pri analizama, projektovanju i pokretanju velikog postrojenja na Smiljevićima. Dodatno, opterećenje HPK mora se prilagoditi postojećoj aktivnoj biomasi, te se po potrebi podešavati eksterni izvor ugljika i pH vrijednost.

Izmjerena koncentracija fosfora u procjednoj vodi je bila vrlo niska, pa je bilo potrebno dodavati vanjski izvor fosfora.

Izabrane membrane su potvrdile odlične karakteristike u pogonu, ali se za velike uređaje svakako preporučuje pažljiv odabir membrana, kao i način montaže i održavanje, sa dovoljnom površinom membrana.

Rezultati i zaključci analiza u toku pogona pilot uređaja na Smiljevićima predstavljaju dobru osnovu za projektovanje velikih postrojenja [12].

Na osnovu rezultata filtrata (efluenta) zaključeno je da testirana MBR konfiguracija uklanja više od 50 % organskog opterećenja, kao i oko 70 % dušika, dok se očekuje samo ograničeno uklanjanje od cca. 30-50% određenih teških metala. Hloridi ostaju i dalje u povećanim koncentracijama. Stoga, pri narednim koracima ka projektiranju uređaja za tretman procjednih

voda na Smiljevićima neizbježno je razmišljati o nadogradnji koja će davati propisani kvalitet efluenta za HPK, BPK₅, ukupni dušik, nitrat i hloride.

Buduće analize i izbor tehnologije bi svakako trebao da uzme u obzir postignute rezultate pilot postrojenja. Nadogradnja i dodatni postupci ovise od izbora ispusta, javni sistem kanalizacije ili otvoreni vodotok. Vlada Kantona Sarajevo i nadležno ministarstvo su još 2018. odlučili da ispust prečišćene procjedne vode sa Smiljevića bude sistem javne kanalizacije. Predretirana otpadna voda sa deponije bi bila dalje prerađena na gradskom postrojenju Butila u Sarajevu, prije konačne dispozicije u rijeku Bosnu.

Iako relativno kratak period rada pilot postrojenja u periodu april - august 2018., analizirani uticaji i rezultati rada omogućavaju bolji uvid u opcije za odabir tehnologije za prečišćavanje procjednih voda na deponiji Smiljevići u Sarajevu. Očekuje se da bi rezultati i iskustva izvučena iz rada pilot uređaja mogla dati svoj doprinos u pronalaženju održivog rješenja za problem procjednih voda na deponiji Smiljevići u narednim koracima.

ZAHVALNOST

Autor se posebno zahvaljuje kolegama Teresi Garstenauer i Bernhard Mayr-u, iz firme EnviCare® Engineering GmbH, Graz, Austria na uspješnoj saradnji i druženju u toku testiranja MBR tehnologije na sarajevskoj deponiji.

LITERATURA

- [1] Serdarević, A., *Upravljanje čvrstim otpadom*, Građevinski fakultet Univerziteta u Sarajevu, 2016.
- [2] Environmental Protection Agency, *Landfill Manual, Landfill Site Design*, EPA Ireland, 2000.
- [3] Uredba o uvjetima ispuštanja otpadnih voda u okoliš i sisteme javne kanalizacije („ Sluzbene novine FBiH“, broj: 101/15 i 1/16, 26/20 i 96/20)
- [4] ISWA, *LEACHATE MANAGEMENT*, Antwerp, Belgium 2015.
- [5] Serdarevic A. (2018) *Landfill Leachate Management—Control and Treatment*. In: Hadžikadić M., Avdaković S. (eds) *Advanced Technologies, Systems, and Applications II*. IAT 2017. Lecture Notes in Networks and Systems, vol

28. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-319-71321-2_54
- [6] Lugowski, Andrew, Sara Arabi, D. Millar and Steven Wilsey (2014). Biological Treatment Of Landfill Leachate: Overview And Case Examples.
- [7] Serdarevic A., (2017) Izbor procesa prečišćavanja procjednih voda sanitarnih deponija *Vodoprivreda*, SDON i Akademija inženjerskih nauka Srbije, COBISS.SR-ID 132119), Vol. 49 (2017) No. 288-290 p. 297-304 297 UDK: 628.35
- [8] Serdarevic A. (2018) Primjena naprednih oksidacijskih procesa na prečišćavanje otpadnih voda - Fenton proces, *Vodoprivreda* 0350-0519, Vol. 50 No. 291-293 p. 129-135
- [9] Ahmed FN, Lan CQ (2012) Treatment of landfill leachate using membrane bioreactors: a review. *Desalination* 287:41–54
- [10] Serdarević, A., Primjena MBR uređaja za prečišćavanje otpadnih voda, doktorska teza, Građevinski fakultet, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo, 2011.
- [11] Serdarević, A., (2015) Efikasnost i uvjeti rada MBR uređaja, *Vodoprivreda*, SDON i Akademija inženjerskih nauka Srbije, 2015., COBISS.SR-ID 132119, Vol.47. No. 273-275, pp 51-67
- [12] Serdarevic A., Garstenauer T., Mayr B., (2022) *Test Operation of the MBR Pilot Plant for Leachate Treatment at the Sarajevo Sanitary Landfill*, Eds.: Ademović, N., Mujčić, E., Aksamija, Z., Kevrić, J., Avdaković, S., Volić : Advanced Technologies, Systems, and Applications VI, IAT 2021. Lecture Notes in Networks and Systems,. Springer, Cham. <https://www.springer.com/gp/book/9783030900540#aboutBook>

LEACHATE TREATMENT - RESULTS OF PILOT PLANT OPERATION AS ASSISTANCE FOR TREATMENT TECHNOLOGY DECISION

by

Amra SERDAREVIĆ

Faculty of Civil Engineering, University of Sarajevo, BiH

Summary

Regional sanitary landfills and waste management centers, which include sanitary landfills, are strategic commitment to municipal waste management in Bosnia and Herzegovina. Operation of a sanitary landfill is monitored by the production of landfill gas and landfill leachate. In order to meet environmental conditions, the obligation of each landfill is to minimize the harmful effects on the environment. Leachate from sanitary landfills is heavily loaded wastewater that changes its composition and quantity over time. Selection of right leachate treatment technology is one of the most important steps in solving leachate problems. In the period 2008-2011, the first leachate treatment plant based on membrane bioreactor technology (MBR) was installed and put into operation at the Sarajevo Sanitary Landfill. Due to a number of field circumstances, failures during installation and during the test operation,

the plant has stopped with operation shortly after commissioning. The current situation at the Sarajevo landfill in terms of leachate treatment remains unresolved. The influence of the leachate on the recipient (Lepenica stream) is evident. In 2016, the Government of Sarajevo Canton started a five-year project for the reconstruction of the sanitary landfill and all associated facilities. One of the planned tasks is to establish a leachate treatment process again. Up to date, several options for leachate treatment have been considered, and in 2018 a pilot plant for determining leachate composition was installed. This paper presents the options considered as well as the testing process and the results of the pilot plant operation.

Key words: MBR-membrane bioreactor, leachate, membrane fouling, technology

Redigovano 2.11.2021.