

EFIKASNOST I UVJETI RADA MBR UREĐAJA

Amra SERDAREVIĆ, docent
Građevinski fakultet, Univerzitet u Sarajevu
Patriotske lige 30, 71000 Sarajevo, BiH
e-mail: amra.serdarevic@gf.unsa.ba

REZIME

Primjena membranske tehnologije u procesima prečišćavanja otpadnih voda, u toku zadnjeg desetljeća dobiva sve značajnije mjesto u odnosu na druge postupke prerade otpadnih voda. Pozitivni rezultati primjene MBR tehnologije se bilježe za tretman komunalnih otpadnih voda kao i industrijskih otpadnih voda. Primjena MBR uređaja u procesu prečišćavanja procjednih voda sanitarnih deponija (filtrata) su u fazi istraživanja i zbog toga je primjena MBR uređaja za tu namjenu još uvijek dosta rijetka. Sastav i koncentracije filtrata značajno variraju ovisno o starosti deponije i vrste otpada koji se odlaže. Veoma izražene razlike i oscilacije u sastavu i količini filtrata također ovise i o nizu drugih faktora, što tretman ovakvih otpadnih voda čini još kompleksnijim. Generalan pristup upravljanju deponijskim procjednim vodama, u razvijenim zemljama, predstavlja primjenu skupa mjera i aktivnosti koji dovode do minimiziranja stvaranja procjednih voda, a za tretman se koriste različita tehničko-tehnološka rješenja. U zadnjih 10-tak godina najčešće se primjenjuje SBR tehnologija, kombinovana sa drugim postupcima predtretmana. U razvijenijim zemljama se koristi postupak višestepene reverzne osmoze (RO) sa ili bez kombinacije predtretmana sa membransko biološkim reaktorima.

MBR tehnologija je testirana i kroz uređaj instaliran za prečišćavanje procjednih voda sanitarne deponije u Sarajevu. Kao primjer, prikazani su rezultati i iskustva stečena kroz primjenu MBR tehnologije na tretmanu procjednih voda.

Ključne riječi: Procjedne deponijske vode, filtrat, MBR uređaji, zaprljanje membrana, održavanje membrana

UVOD

Membransko biološki reaktori (MBR) u odnosu na konvencionalne postupke prečišćavanja otpadnih voda sa aktivnim muljem ili SBR uređaje su relativno nova, ali već vrlo široko prihvaćena tehnologija za prečišćavanje otpadnih voda. (Cvetković, Despotović 2011; Sudar et al, 2012, Serdarević, 2014). Uglavnom, područje primjene se odnosi na komunalne otpadne vode. MBR se primjenjuju i za prečišćavanje industrijskih otpadnih voda, često i u kombinaciji sa drugim tehnologijama. MBR tehnologija obrade komunalnih otpadnih voda omogućuje obradu otpadnih voda u nekoliko osnovnih faza (ovisno o zahtjevanom stepenu prečišćavanja) i nizu podfaza, ovisno o tehničkoj izvedbi. Aeriranjem vode i zadržavanjem optimalne količine aktivnog mulja za rast mikrororganizama u bazenu bioreaktora stvaraju se uvjeti da se u kratkom vremenu obrade sve organske materije koje opterećuju otpadnu vodu. Nakon biološke obrade voda se propušta kroz membrane koje zadržavaju mikrororganizme i sve zaostale organske i anorganske materije, a propuštaju vodu visokog stepena čistoće. Čišćenje separacijskog sistema – mikrofiltracijske membrane obavlja se povratnim pranjem u kratkim vremenskim intervalima s razrijeđenim hipokloritom.

MBR uređaji se u osnovnoj konfiguraciji sastoji od objekata predtretmana, koji se sastoji od ulaznih objekata za ujednačavanje doticaja i kvaliteta influenta, zatim objekata sa grubom i finom mehaničkom rešetkom (0.5-3 mm – svijetli otvor), te slijede MBR reakcijski bazeni (denitrifikacija; nitrifikacija; aeracija; područje membrana). Uklanjanje nutrijenata zavisi od zahtjevanog stepena prečišćavanja, te se i MBR uređaji

kombiniraju sa anoksičnim i anaerobnim bazenima za uklanjanje nutrijenata. Primarni i sekundarni taložnici, te recirkulacija mulja između bazena i eventualno pješčana filtracija nisu potrebni. Velike dozvoljene promjene ulaznih protoka u MBR sistemu, čini ih prikladnim za obradu velikih vršnih opterećenja ili za obradu vrlo malih dotoka u toku male potrošnje voda. Osnovna prednost primjene MBR tehnologije je dakle u činjenici, da se radi o relativno malim uređajima, koji na nivou primjenjene tehnologije imaju ugrađenu mogućnost tercijarne obrade otpadnih voda, s niskim izlaznim koncentracijama suspendovanih materija, HPK, BPK₅, amonijaka, TKN i TP.

Membransko biološki reaktori se mogu različito klasificirati i podijeliti, kao na primjer u odnosu na konfiguraciju sistema, vrste membrana, radne pritiske i dr. (Serdarević, 2014).

Tako se u osnovi, prema konfiguraciji uređaja, razlikuju dva osnovna sistema:

- sistem sa membranama uronjenim u biološke reaktore,
- sistem sa membranama ugrađenim izvan reaktora, u zasebne cjevne nosače.

Membranski uređaji se razlikuju i po vrsti materijala od kojeg su membrane napavljene i otvorima pora membrana kao i po radnim pritiscima. Karakteristični, efektivni otvori pora za membrane koje se koriste za MBR uređaje su: za proces mikrofiltracije u opsegu od 0,1 – 0,4 mikrona, dok za membransku ultrafiltraciju ti otvori se kreću od 0,002 – 0,1 mikron. Osnovni parametri za projektovanje i ocjenu rada membrana su fluks (jedinični proticaj kroz površinu membrane), permeabilnost membrana, stepen selektivnosti membrana, transmembranski pritisci, ciklusi operativnog pogona, očekivani vijek trajanja i drugi parametri koji se uzimaju pri projektovanju i pogonu uređaja kao relevantni (Serdarević, 2014).

TEORETSKE OSNOVE MBR TEHNOLOGIJE

MBR je tehnologija prerade otpadnih voda koja pripada grupi separacijskih procesa s biološkom obradom vode s aktivnim muljem. Mehanička predobrada otpadnih voda prilagođena je zahtjevima bioloških procesa koji se odvijaju unutar bio-reaktora.

Kako je već rečeno, MBR tehnologija u osnovi kombinira biološki proces prečišćavanja otpadnih voda sa filtracijom vode kroz membrane, kao mehanički proces odvajanja krute od tečne faze. Osnove biološkog

prečišćavanja, dimenzioniranje bioaeracionih bazena, uz eventualno uključivanje i dimenzioniranje anoksičnih i anaerobnih zona za uklanjanje nutrijenata, provodi se slično kao i kod dimenzioniranja konvencionalnih bioaeracionih bazena sa aktivnim muljem, sa razlikom u koncentraciji suhe mase mulja i vremenom zadržavanja mulja u sistemu. MBR uređaji se tako mogu projektovati sa većim ulaznim koncentracijama aktivnog mulja (npr. do 40 grSM/L) (WEF, 2006) što omogućava veće opterećenje uređaja. Što se tiče rada membrane u sklopu MBR uređaja, princip rada se zasniva na zakonima filtracije. U nastavku se daje prikaz osnovnih parametara rada membrana, pristup izboru membrana te osnove iz kontrole pogona MBR uređaja.

PARAMETRI RADA MEMBRANA

Fluks (propusnost ili proticaj po jedinici površine membrane (J) predstavlja količinu tečnosti koja prolazi kroz jedinicu površine membrane u jedinici vremena. SI jedinica je m³/m²/s, ili jednostavno ms⁻¹ (WEF, 2006).

$$J = \frac{Q_p}{A}$$

J - fluks permeata [m³/ m²·s];

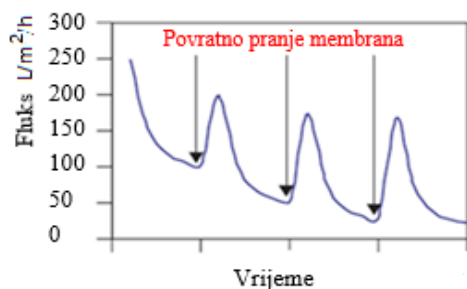
Q_p – proticaj permeata [m³/s];

A - površina membrane [m²]

Jedinice za veličinu fluksa u literaturi su litar po kvadratnom metru na sat (L/m²/h) ili m/dan, radi pristupačnijeg opisivanja rada membrana. Za MBR uređaje opseg fluksa, kod primjenjenih uređaja i u literaturi, se kreće između 10 i 100 L/m²/h (Serdarević, 2014).

Konfiguracije membranskih modula imaju različita tehnička rješenja protoka vode kroz membrane. Najjednostavnija konstrukcija se bazira na usisu biomase okomito na površinu membrana (eng. “dead-end” (DE)), odnosno, ukupni ulazni tok (eng. feed) propušta se vertikalno u odnosu na membranu, a permeat izlazi kroz jedan izlaz iz modula. Ovim rješenjem, koncentracija zadržanih materija se povećava na površini membrana i brže dovodi do formiranja filtracionog kolača na površini membrane, što opet dovodi do pada protoka kroz membrane (fluks)(slika 1).

Pomoću povratnog pranja dolazi do oporavka membrana i ponovnog povećanja propusnog kapaciteta. “Dead-end” tok se koristi pri mikrofiltraciji uronjenih modula. Slučaj kada se ulazna voda uvodi tangencijalno

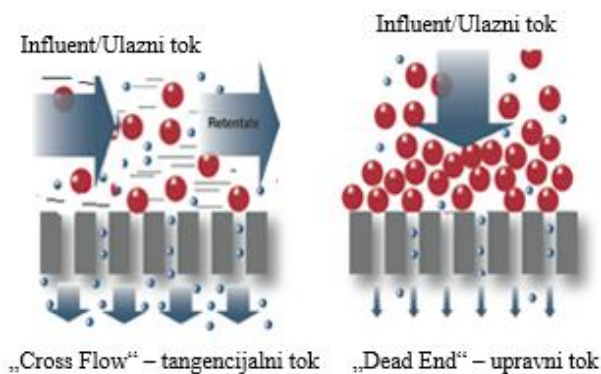


Slika 1. Promjena fluksa u vremenu t za upravan tok (Serdarević, 2014)

u odnosu na membrane označena je u literaturi kao "cross-flow" (CF) mikrofiltracija sa unakrsnim tokom. Kod mikrofiltracije sa unakrsnim tokom, smanjuje se brzina formiranja filtracione pogače a pad fluksa je kontinualan jer kod ovog sistema nema mogućnosti ciklusa povratnog pranja. Primjeri „crossflow“ i „dead-end“ filtracije su prikazani na slici 2.

Ključni elementi bilo kojeg membranskog procesa vezani su za utjecaj sljedećih parametara na ukupni fluks permeata (Judd, 2006):

- otpor membrana,
- pogonsku silu po jedinici površine membrane,
- hidrodinamičke uvjete na kontaktu membrane : tekućina,
- zaprpljanje i začepljenje membrana te posljedično čišćenje površine membrane.



Slika 2. Proticaj kroz module „Cross-flow“ i „Dead-end“ tok (spectrumlabs.com/filtration/OC2.jpg, 2011)

Otpor membrane R (1/m) i permeabilnost (propustljivost) K (L/m·h·bar), su obrnuto proporcionalne veličine (Li et al., 2008; Judd, 2006). Odnosno, izraženo preko odnosa pogonskog pritiska i fluksa, otpor membrana se može napisati kao:

$$R = \frac{\Delta P}{\mu \cdot J}$$

μ - dinamički koeficijent viskoziteta vode (Pa·s) ili (kg/m·s)

J - fluks (m³/m²·s)

ΔP ili TMP - pad pritiska kroz membrane ili transmembranski pritisak (Pa)

R - koeficijent otpora membrana (1/m)

Otpor R uključuje sljedeće komponente (Wiesmann et al, 2007) :

$$R = R_m + R_f + R_c$$

Otpor membrana protoku vode : R_m

Hidraulički otpor usljed začepljavanja pora i adsorpcije (ireverzibilan proces): R_f

Otpor usljed formiranja filtracionog kolača ili biofilma (reverzibilan proces): R_c

Formiranje gel - sloja ili muljnog, filterskog kolača se često dešava po postizanju ili iznad tzv. kritičnog fluksa (Judd, 2006; Li et al, 2008).

Kritični fluks je teško definirati (Judd, 2006) zbog veze sa određivanjem limitirajuće vrijednosti zaprpljanosti i začepljenja membrana. U praksi je puno pristupačnije definirati «održivi» fluks za koji je porast TMP u određenoj vremenskoj jedinici (dTMP/dt) prihvatljivo mali. Ipak, pojam kritični fluks se često pominje u literaturi i to najčešće pri razumjevanju procesa začepljavanja membrana i zaprpljanja.

Permeabilnost ili propusnost membrana (K) se izražava kao količnik specifičnog proticaja fluida kroz membrane i transmembranskog pritiska:

$$K = \frac{J}{\Delta P_m} \left(\frac{L}{m^2 \cdot h \cdot bar} \right)$$

Na permeabilnost membrana kao i na koeficijent otpora membrana, utiče niz faktora kao što su :

- temperatura,
- zaprpljanje membrana (formiranje sloja (eng. fouling) koji začepljava pore na površini membrana)
- pranje i održavanje membrana

Okvirna vrijednost za permeabilnost uzima se vrijednost od 150 – 200 L/h · m² · bar.

Kako je već navedeno, temperatura igra bitan faktor za povećanje fluksa. Utjecaj promjene temperature (Mulder, 1996; WEF, 2006) na fluks se može prikazati sljedećim izrazom :

$$J = J_{20} \cdot 1,024^{(T-20)} \left(\frac{m^3}{m^2 \cdot s} \right) \text{ ili } \left(\frac{L}{m^2 \cdot h} \right)$$

odnosno, standardizirano za temperaturu od 20⁰ C, fluks se može izračunati kao:

$$J_{20} = J / 1,024^{(T-20)}$$

gdje je :

J_{20} – Korigirani fluks na standardnu temperaturu (sa temperaturnom korekcijom)

J – Fluks na procesnoj temperaturi

T – izmjerena temperatura (⁰C)

Izraz za permeabilnost na 20⁰C ne predstavlja sveobuhvatan i univerzalan izraz (Judd, 2006) međutim, praktično se koristi za ocjenu rada uređaja u pri različitim temperaturama. Pored navedne korekcije određivanja fluksa za rad uređaja na 20⁰C, postoje i drugi obrasci (ovisno o proizvođačima opreme i određenom, standardizovanom fluksu za čiste membrane na definisanoj procesnoj temperaturi) koji pojednostavljaju određivanje protoka kroz membrane i prate pogon uređaja.

Fluks vode se obično povećava za cca. 3% za svaki stepen povećanja temperature vode (WEF - *Water Environment Federation*, 2006).

Praćenje fluksa permeata je veoma bitno radi određivanja momenata kada se membrane moraju oprati od sloja koji se zalijepi na površini membrana.

Količina protoka koji treba proći kroz membrane diktira ukupnu površinu membrana. Da bi se projektovao odgovarajući MBR sistem, u obzir se moraju uzeti sljedeći doticaji (WSDE, *Washington State Department of Ecology*, 2008)

- maksimalni mjesečni doticaj sa odgovarajućom minimalnom temperaturom vode
- maksimalni dnevni doticaj sa odgovarajućom minimalnom temperaturom vode
- maksimalni broj uzastopnih dana u kojima se ovakav doticaj javlja
- učestalost pojave i period razmaka između ponavljanja
- maksimalni satni doticaj sa odgovarajućom minimalnom temperaturom vode
- broj uzastopnih sati ponavljanja ovog proticaja u toku maksimalnog dnevnog dotoka

Za MBR uređaje, proizvođači membrana specificiraju opseg fluksa kojim se membrane mogu «opteretiti» uzimajući u obzir minimalnu dozvoljenu temperaturu

fluida. Domen u kojem se kreće fluks varira u ovisnosti od temperature, koncentracije aktivnog mulja i vremena zadržavanja mulja. Projektom se moraju obezbijediti uvjeti rada postrojenja kroz koja će određeni domen vrijednosti fluksa kroz membrane biti odgovarajući. Prosječan dnevni fluks je prihvatljiv prosječan dnevni proticaj kroz membrane. Sistem se projektuje tako da se obezbijedi dovoljna površina membrana za prolaz prosječnog dnevnog dotoka na postrojenje.

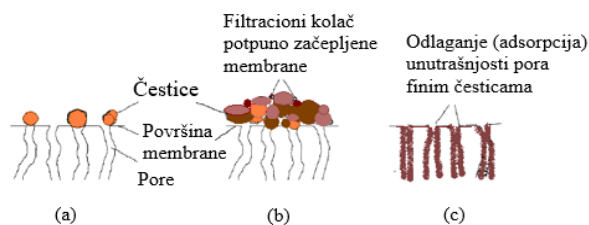
Maksimalna vrijednost fluksa je najveći proticaj kroz membrane koji može biti prihvaćen u kratkom vremenskom periodu (projektom se mora specificirati trajanje maksimalnog doticaja, učestalost pojave i vrijeme potrebno za oporavak i relaksaciju membrana). U ovisnosti o učestalosti pojave maksimalnog doticaja kroz projekat može se predložiti izgradnja bazena za ujednačavanje doticaja. U ovisnosti od cjelokupne tehnologije prečišćavanja, membranski sistem može biti projektovan za prihvatanje oscilacija u dotoku u opsegu 2 – 2,5 puta većeg od prosječnog dnevnog doticaja na postrojenje (WSDE, *Washington State Department of Ecology*, 2008).

Domen u kojem se fluks kreće kroz membrane ovisi o karakteristikama otpadne vode i samom tehnološkom projektu, te zahtijeva prilagođavanje i procjenu opravdanosti za svako postrojenje zasebno. Literaturno (WSDE, 2008; WEF, 2006), domen u kojem se smatra ekonomski i tehnički opravdana i održiva veličina fluksa, kod MBR postrojenja, kreće se od 20 – 30 L/m²·h na 20⁰C. Maksimalni fluks u literaturi (WEF 2006; WSDE, 2008) iznosi 40 L/m²·h pri 20⁰C u trajanju do 6h. Održavanje protoka fluida kroz membrane zahtijeva silu kojom se pravazilazi *transmembranski pritisak (TMP)*. U većini instalisanih postrojenja, proticaj kroz membrane zahtijeva primjenu malog negativnog pritiska za usis permeata kroz membranu. Tipični TMP (WSDE, *Washington State Department of Ecology*, 2008) za šuplja membranska vlakna pri projektovanju za prosječan fluks od 25 L/m²·h se kreće u opsegu od 0,15 – 0,7 bara, a maksimalna vrijednost (u idealnim uvjetima rada) za TMP je 0,5 – 1 bar. Ravna membranska platna, za isti projektovani fluks, funkcioniraju sa nižim TMP koji se u prosjeku kreće od 0,03 – 0,1 bar, a maksimalni TMP je oko 0,2-0,3 bara. Projektom se mora definirati očekivani TMP za kritične vrijednosti fluksa (WSDE, *Washington State Department of Ecology*, 2008).

Održavanje projektovane propusnosti je u direktnoj vezi sa održavanjem membrana.

Zaprljanost membrane predstavlja taloženje ili akumulaciju suspendovanih, odnosno koloidnih čestica na površini membrane, kao i kristalizaciju, taloženje ili adsorpciju rastvorene supstance na površini i/ili u porama membrane (slika 3). Zaprljanje i posljedično začepljavanje pora je u konačnici ireverzibilan proces. Zaprljanost membrana dovodi do smanjenja fluksa permeata i/ili do povećanja zadržavanja rastvorene supstance na membrani. Izabrani MBR sistem u pogonu, kroz održavanje membrana mora spriječiti nakupljanje i ljepljenje čestica na površine membrana. Ova pojava začepljavanja membrana veoma brzo povećava TMP i značajno obara fluks do neprihvatljivih granica. Uglavnom, radi održavanja membrana čistim, koristi se propuhivanje membrana, odnosno aeracija sa krupnim mjehurićima u konstantnom radu ili u ciklusima. Na ovaj način se sa površine membrana otreseju nakupljene čestice, a svaki od proizvođača je dužan specificirati način održavanja i redovnog čišćenja membrana.

Posljedica začepljavanja membrana je njihova smanjenja efikasnost, koju prati povećanje potrošnje energije i troškova održavanja. Uzrok začepljenja je nakupljanje anorganskih i organskih čestica na površini membrana. Iako nakupljanje mineralnih i ostalih anorganskih sastojaka igra ulogu u smanjenju propusnosti kroz membrane, začepljavanje biomasom je osnovni razlog za opadanje proticaja.



Slika 3. Zaprljanje membrana: (a) začepljenje pora; (b) formiranje filtracionog kolača i potpuno začepljenje membrane, (c) obraštaj unutrašnjosti pora finim česticama (Serdarević, 2011)

Začepljavanje biomasom rezultat je nakupljanja biosloja koji se sastoji od mikroorganizama i ekstracelularnih polimernih materija (EPS). EPS se generalno sastoji od huminskih kiselina, ugljikohidrata i proteina. Praćenje sadržaja čestica koje dovode do začepljavanja membrana je veoma bitno u održavanju fluksa kao i čišćenju membrane (Wiesmann *et al.*, 2007). Opadanje protoka kroz membranu može se djelimično izbjeći tangencijalnim proticanjem napojne smjese kroz modul, promjenom radnih parametara za postojeću opremu,

promjenom parametara rastvora (npr. promjena vrijednosti pH i sl.), tretmanom ili zamjenom membrane ili uvođenjem predtretmana prema kvalitetu otpadne vode i sl. Zaprljanost membrane je veoma kompleksan fenomen u vezi kojeg ne postoje jedinstveni zaključci i standardi. Sam pristup održavanju membrana kao i razvoj tehnologije čišćenja zahtijeva kontinuirano usavršavanje i istraživanja.

PRIMJENA MBR UREĐAJA ZA PRERADU PROCJEDNIH VODA

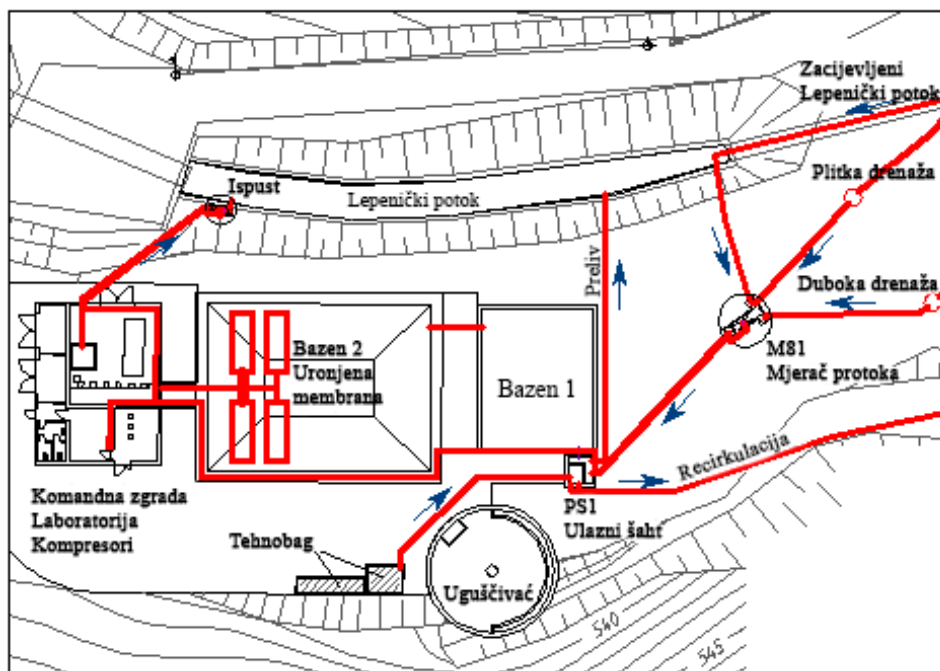
Kako je već u uvodu rečeno, MBR uređaji, do sada su rjeđe primjenjivani za tretman procjednih voda deponija. U svijetu je mali broj instaliranih MBR postrojenja za isključivo deponijske vode, a kod postojećih uređaja MBR se uvijek nalazi u kombinaciji sa nekim drugim tehnologijama i/ili se procjedne vode miješaju sa komunalnim otpadnim vodama (Serdarević, 2014). Međutim, primjena ove tehnologije i za tretman procjednih voda se istražuje pa je tako ova tehnologija, kao prvi MBR uređaj u BiH, izabran za tretman procjednih voda na sarajevskoj deponiji. Izabrana je MBR tehnologija, biološko prečišćavanje sa membranskom filtracijom kroz uronjena, membranska vlakna. MBR je usvojen kao kompaktan uređaj na relativnom malom raspoloživom prostoru. Što se tiče primjene MBR uređaja za tretman procjednih voda, iz literature, iskustva su skromna i odnose se još uvijek na tek nekolicinu uređaja koji su u pogonu. Instalirani uređaji uključuju mikrofiltraciju, tj. MBR uređaje npr. kao predtretman reverznoj (višestepenoj) osmozi ili je riječ o primjeni ultrafiltracije izvan bioreaktora. S obzirom na izbor nove tehnologije i njene primjene za procjedne vode, probni pogon se pratio sa velikim interesovanjem.

OPĆE KARAKTERISTIKE SARAJEVSKOG ODLAGALIŠTA KUĆNOG OTPADA "SMILJEVIĆI"

Otpad koji se stvara na području Kantona Sarajevo odlaže se na deponiju otpada «Smiljevići». Deponija se koristi od 1962. godine i bila je izabrana u skladu sa opštim principima koji su tada bili uobičajeni. Deponija «Smiljevići» je formirana u prirodnoj depresiji na lokalitetu Smiljevići koja je udaljena 3 km od centralne gradske zone. Lokacija se nalazi u prirodnom padu i gravitira koritu kanalisnog Lepeničkog potoka. Transformacija postojećeg smetljišta u Smiljevićim u sanitarnu deponiju je započeta 1998. godine. Prema podacima o prikupljenim količinama komunalnog otpada na deponiji Smiljevići, odlaže se dnevno cca.

500 tona. Mogućnost zbijanja otpada ovisi o težini mašina i o broju prelaza buldožera i kompaktora. Zbijenost otpada kreće od 250 kg/m³ do 850 kg/m³. Otpad se razastire u slojevima 0,3 – 0,5 m. Ukupna visina etaže iznosi 2,5m.

Deponijski plin se prikuplja i odvodi na postrojenje za produkciju električne energije, a na deponiji su instalirane i baklje za spaljivanje plina (Serdarević, 2007).



Slika 4. Shema MBR uređaja na sarajevskoj sanitarnoj deponiji Smiljevići (Serdarević, 2011)

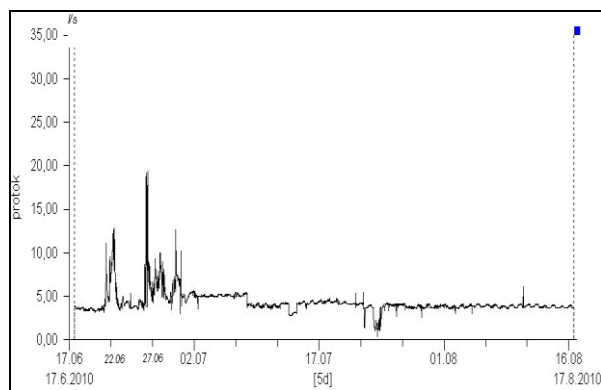
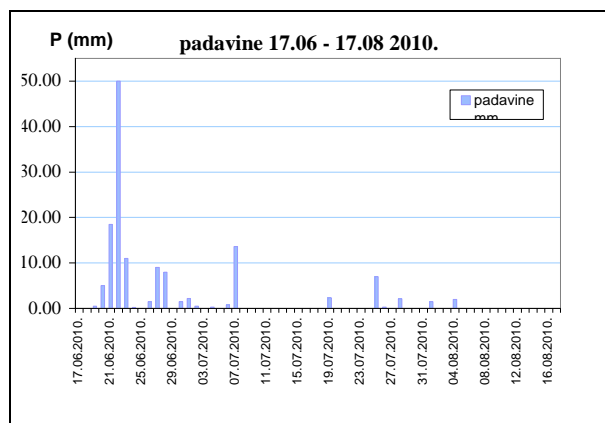
Procjedne vode sanitarne deponije Smiljevići, skupljaju se u tri različita glavna kolektora: kolektor drenaže sa multibarijerne zaštite (plitka drenaža) koji prikuplja procjedne vode kroz slojeve svježe odloženog otpada. Kolektor je položen na multibarijernu zaštitu, izgrađenu 2005. godine na slojevima starog otpada. Drugi kolektor prikuplja vodu upravo iz tih dubokih slojeva otpada ispod multibarijerne zaštite, a treći kolektor prikuplja i dovodi procjedne vode prikupljene na najnižim tačkama deponije. Najniže tačke su na tjemenu zacijevljenog Lepničkog potoka, odnosno recipijenta procjednih voda (slika 4).

Istraživanje problematike tretmana procjednih voda sanitarnih deponija kompleksan je zadatak koji obuhvata više, uzajamno povezanih, segmenata. Procjedne vode (filtrat) sanitarnih deponija su veoma zagađene otpadne vode koje, uglavnom, sadrže visoke koncentracije organskih materija, amonijačnog azota, sulfida, hlorida i drugih štetnih supstanci. Produkcija procjednih voda ili filtrata iz sanitarnih deponija

komunalnog otpada prateća je pojava procesa razlaganja otpada, a ujedno predstavlja i značajan okolišni problem. Mnogi faktori uzajamno utiču na različitost količine i kvaliteta filtrata sanitarnih deponija. Ti faktori su: godišnje padavine, površinsko oticanje, infiltracija, evaporacija, smrzavanje, prosječna temperatura zraka, sastav i količine otpada, gustina otpada, početna vlažnost otpada, debljina slojeva deponovanja, te starost deponije. Produkcija filtrata na samom početku ovisi o količinama vode koje će se procjeđivati kroz slojeve otpada u direktnoj ovisnosti o tehnologiji odlaganja. Ukupne količine filtrata sastoje se od količina vanjskih voda koje na taj način dospijevaju u tijelo deponija i količina koje se unesu otpadom i nastaju razlaganjem otpada. Vanjske vode, koje kod deponija i osobito kod neuređenih odlagališta otpada, dospijevaju u slojeve odloženog otpada su:

- oborinske vode,
- površinske, slivne vode,
- podzemne vode.

Izborom odgovarajuće lokacije, te osobito izvedbom multibarijerne zaštite i obodnih kanala teži se minimiziranju dotoka vanjskih voda na površinu deponija i prodiranje u tijelo deponija. Vanjske površinske vode se u sklopu deponija odvojeno prikupljaju, kontroliraju, koriste i ispuštaju u recipijent.



Slika 5. Veza padavina (mm) i količine procjednih voda (L/s) na sarajevskoj sanitarnoj deponiji u periodu 17.06. – 17.08.2010. godine (Serdarević, 2011)

Ako se analizira vodni bilans na aktivnoj plohi deponije, na količine procjednih voda utiču oborine, vlažnost koja se unese otpadom, odnosno procesi razlaganja otpada. Kod neobrađenog komunalnog otpada vlažnost se kreće između 20 i 60% količinskog udjela. Međutim, u pravilu vlažnost neobrađenog komunalnog otpada je ispod tačke zasićenja (saturacije), odloženi otpad (ovisno o početnom stepenu vlage) u prosjeku može teoretski zadržati oko 12% zapremninskog dijela, dodatne vlage (Rettenberger, 2006). Stoga vrijeme zadržavanja oborinske vode u tijelu deponije ovisi o nizu faktora i zahtjeva kontinualan monitoring oborina, produkcije filtrata i sl. Primjer uzajamne veze ukupnih dnevnih padavina i količine procjednih voda za period od

17.06.2010. do 17.08.2010. prikazan je na slici 5. Može se uočiti utjecaj obilnijih padavina u period od 19.06.2010. do 01.07.2010. na oscilacije u doticaju na postrojenje.

OPIS MBR UREĐAJA SMILJEVIĆI

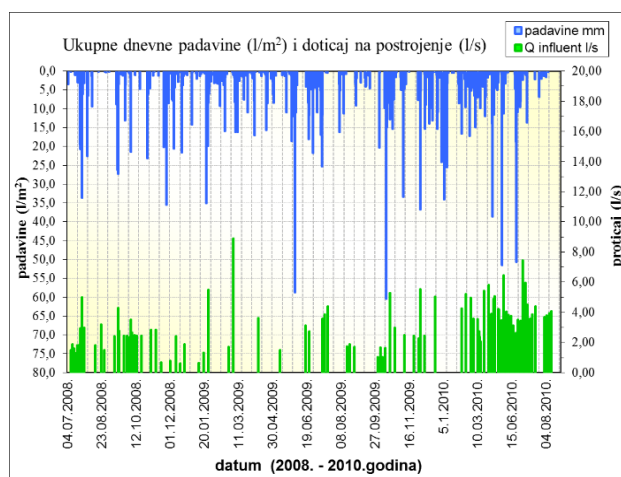
Procjedne vode sanitarne deponije u Sarajevu, gravitaciono se dovode do prijemnog šahta (M1), gdje se miješanjem ujednačava sastav i količina procjednih voda, a zatim se vode dalje transportuju do ulaznog šahta postrojenja (PS1) koji se nalazi ispred bioaeracionog bazena 1. Situacija postrojenja sa rasporedom objekata je prikazana na slici 4. Doticaj na postrojenje u periodu 2008. – 2011. godine se kretao u opsegu od 0,6 L/s do 8,9 L/s. U tabeli 1 navedene su vrijednosti parametara kvaliteta i količine procjednih voda iz sva tri izvora onečišćenja i odgovaraju literaturno kvalitetu procjednih voda starih deponija (Farquhar, 1989)

Tabela 1. Prosječan dotok i sastav procjednih voda na deponiji Smiljevići (Serdarevic, 2011)

#	Parametar kvaliteta	Plitka drenaža	Duboka drenaža	Kalota **	mix. u M1 ulazni šaht	MDK za kanalizaciju
1	Q (L/s)	cca 0,90	cca 0,33	cca 1,52	cca 2,75	
2	pH	8,22	7,94	7,27	7,79	5,5-9,5
3	Elektrovodljivost (μS/cm)	15840	7960	8840	11930	-
4	TDS (mg/L)	10138	5094	5658	7635	-
5	Mutnoća (NTU)	116	31,6	50,5	64,4	-
6	Boja (Pt/Co)	3000	500	750	1750	-
7	Susp. materije (mg/L)	128	25,4	13,2	58,6	< 300
8	HPK-Cr (mgO ₂ /L)	2093	727	978	1166	700
9	BPK-5 (mgO ₂ /L)	170	25	35	125	250
10	Ukupni-N	1202	530	608	822	100
11	Kjedhal-N (mg/L)	1193	529	608	818	-
12	NH ₄ -N (mg/L)	957	479	598	718	31,1
13	NO ₃ -N (mg/L)	9,03	1,13	0,226	4,52	11,29
14	NO ₂ -N (mg/L)	0,183	0,30	<0,0015	0,122	3,04
15	Ortofosfati/PO ₄ -P (mgP/L)	6,35	0,380	2,02	3,65	-
16	Ukupni fosfor/TP (mgP/L)	9,28	1,32	2,55	5,00	5
17	Sulfidi (mg/L)	24,0	6,40	9,60	18,4	1,0
	MLSS u AB bazenu (g/L)	2,285				
	Imhoff u AB (mL/L)	120				

Statističkom obradom podataka o proticaju u probnom pogonu, prosječni doticaj na postrojenje iznosio je 3,24 L/s, što je i usvojeno kao mjerodavan doticaj na postrojenje. Maksimalni doticaj u ulazni šaht iznosio je 8,9 L/s i u tom slučaju membrane su filtrirale max. do 5 L/s. Inače, konceptom je predviđeno da se razblažen influent, u slučaju kad na postrojenje dolaze veće količine procjednih voda, ispušta u prijemnik bez tretmana, a također, predviđena je i recirkulacija filtrata na aktivnu plohu deponije (slika 4).

Na slici 6. se može uočiti povezanost padavina i formiranje filtrata na deponiji Smiljevići. Literaturno su poznati prosječni sastavi i količine procjednih voda „mladih“, srednje starih i starih deponija, u što se uklapaju i dobiveni rezultati sa sarajevske sanitarne deponije. (Serdarević, 2011; Lu et al. 1985)



Slika 6. Odnos mjerenih padavina i doticaja procjednih voda na sarajevskoj sanitarnoj deponiji (2008-2010)

Za tretman deponijskog filtrata na sarajevskoj deponiji kućnog otpada, predviđeno je biološko prečišćavanje u bioaeracionim bazenima 1. i 2. ukupne zapremine $V = 1000 \text{ m}^3$. Bazen 1, bioaeracioni bazen, zapremine $V = 500 \text{ m}^3$ povezan je prelivom sa bazenom 2, koji predstavlja membranski bioreaktor, odnosno u bazenu 2. su instalirani i uronjeni membranski moduli. Na dnu oba bazena raspoređeni su dubinski aeratori. Mjerenje kisika kontroliše se prema zadatoj vrijednosti kisika (2-2.5 mg/L). Sistem za aeraciju je difuzni, potopljeni sistem sa krupnim mjehurićima zraka sa max. predviđenim unosom kisika od 173 kgO₂/h. Predviđeni proces biološkog prečišćavanja sa membranskim reaktorom dozvoljava veću koncentraciju biomase pa je tako na osnovu ulaznog opterećenja iz 2005. godine, odabrana maksimalna koncentracija MLSS od 10 gSM/L,

opterećenje mase mulja $F/M = 0,052 \text{ kgBPK}_5/\text{kgSM}\cdot\text{d}$, a za zapreminsko opterećenje $0,52 \text{ kg BPK}_5/\text{m}^3\cdot\text{d}$ u odnosu na ukupnu zapreminu bioloških bazena $V=1000\text{m}^3$. Predviđeno opterećenje mase mulja ($F/M=0,052$) odgovara biološkom procesu prečišćavanja sa produženom aeracijom i simultanom stabilizacijom mulja.

Odvod viška mulja je predviđen crpanjem iz membranskog reaktora (bazena 2) u zgušnjivač mulja ($V=300\text{m}^3$), a nakon procjeđivanja i sušenja, dehidrirani mulj se istresa na radnu plohu deponije (slika 4).

Parametri za projektovanje biološkog procesa prečišćavanja, kod MBR uređaja u osnovi su isti kao i kod konvencionalnih uređaja, proračun opterećenja mulja, zapreminskog opterećenja, količine viška mulja, starost mulja izračunavaju se jednako kao i kod konvencionalnih uređaja sa aktivnim muljem samo je opseg koncentracija suhe mase mulja kod MBR uređaja puno veći. Za MBR uređaj na sarajevskoj deponiji kućnog otpada nije predviđeno kompletno uklanjanje azota. Izabranim tehnološkim procesom predviđeno je uklanjanje ugljičnih spojeva i nitrifikacija bez denitrifikacije. Stoga u tehnološkom toku nema anoksične zone za denitrifikaciju. U bazen 2 instalirani su membranski moduli od šupljih membranskih vlakana, izrađeni od PE sa svojstvima koja omogućavaju rad membrana u agresivnim sredinama (slika 7). Membranski moduli se sastoje od poroznih šupljih vlakna (HF) sa mikroporama 0,2 μm . Vanjski promjer vlakana je ID 0,4 mm, dužine od 0,7 do 1m koji su kombinovani u svežnjeve i obmotani oko PVC nosača. Nosač ima usisni priključak za filtriranu vodu i priključak za zrak pod pritiskom za propuhivanje membrana zrakom, što spada u vanjsko čišćenje vlakana uporedno sa normalnim pogonom filtracije.

Instalirana su 4 registra na nosačima u bazenu 2, a svaki registar ima 3 modula. Svaki modul se sastoji od 768 membranskih uložaka. Jedan modul (8x8 membranskih uložaka) u fazi motaže u bazen 2, prikazan je na slici 7. Montirani membranski moduli imaju ukupnu aktivnu površinu filtracije od 2364 m².

Princip rada je sljedeći: rad membrana (filtracija) odvijala se u ciklusima od 3 minute, sa maksimalnim proticajem proticajem (18m³/h) kroz membrane (fluks) od 7 L/m²·h. Radni pritisak na usisu (eng. NOP normal operation preasure) je ograničen na 0,35 bar. Ako se poveća TMP, sistem se automatski zaustavlja i membrane se moraju očistiti.



Slika 7. Membranski moduli pri montaži u bazen 2

U normalnom pogonu, u ciklusu usisa permeata koji iznosi 180 sec uključeno je i povratno pranje membrana čistom vodom od 10 sec po registru kao i rastresanje zrakom koje se odvija paralelno sa pranjem membrana (air-scour) stvarajući turbulenciju oko membrana u cilju sprečavanja ljepljenja čestica aktivnog mulja na površine membrana. Količina vode korištene za povratno pranje treba biti evidentirana i ne smije preći 33% dnevnog dotoka (influent) ili maksimalno 142 m³/d.

Analiza rada MBR uređaja praćena je putem obrade parametara kvaliteta influenta i efluenta MBR postrojenja i kroz podatke o radu membrana. Dobiveni rezultati sa analizirani i poređeni sa literaturnim podacima i iskustvima na drugih MBR uređaja, osobito po pitanju troškova pogona i sl.



Slika 8. Uronjeni moduli u radu u bazenu 2 (Serdarević, 2011)

Iz uzoraka za ispitivanje parametara kvaliteta rada MBR uređaja i efekata prečišćavanja, redovno se ispitivalo 19 parametara: pH, elektrovodljivost, ukupne rastvorene materije (TDS), mutnoća, boja, suspendovane materije, HPK, BPK₅, Ukupni N, TKN, NH₄-N, NO₂-N, NO₃-N, TP, PO₄-P, koncentracija mulja (MLSS) u bioaeracionom bazenu 1 kao i bioaeracionom bazenu 2 sa uronjenim membranama, te taloživost i osobine mulja. Po potrebi su rađene analize sadržaja teških metala, sulfidi, sulfati, hloridi, analiza ukupnih suspendiranih materija u mješavini aktivnog mulja kao i koncentracija volatilnih materija u aktivnom mulju, u oba bazena. Parametri su poređeni sa očekivanim vrijednostima prečišćavanja (ugovorenim i zakonskim okvirima), tehnološkim procesnim parametrima i kao takvi analizirani (*Quasim i Chiang, 1994*). Mjerenja i analize rada instaliranog MBR uređaja za preradu procjednih voda su nadalje i prezantirani, za period probnog pogona 2008. -2010. godina.

REZULTATI RADA MBR UREĐAJA

Kroz ovaj rad su prikazani rezultati efikasnosti rada MBR uređaja u periodu 2008 – 2010 godina. Ocjena efikasnosti bazirala se na analizi kvaliteta efluenta postrojenja, parametrima kvaliteta i rada membrana kao i troškovima pogona. Parametri kvaliteta efluenta MBR uređaja su kontrolirani u odnosu na maksimalno dozvoljene koncentracije (MDK) propisane važećom Uredbom. (*Serdarević, 2011*)

Osim fizikalno-hemijskih pokazatelja kvaliteta ulazne i izlazne vode iz postrojenja, praćeni su i parametri biološkog prečišćavanja unutar oba bioaeraciona bazena kroz koncentracije mulja u bazenima 1 i 2, prirast mulja, volumen mulja (mL/L), index mulja, odnos volatilnih i inertnih materija kao i respiracije mulja, odnosno stope iskoristivosti kisika u aktivnom mulju kao mjera aktivnosti mikroorganizama. Analiziran je i odnos opterećenja mulja F/M u smislu biokinetičkih procesa koji se odvijaju u tretmanu procjednih voda.

DOTOK NA POSTROJENJE

Postrojenje je koncipirano da primi količine procjednih voda do maksimalno 5 L/s, od 5-10 L/s predviđena je recirkulacija filtrata na radnu plohu deponije, a preko 10 L/s, s obzirom na očekivano veliko razblaženje u tim prilikama, predviđen je ispus u potok. Količina procjednih voda se kretala u opsegu od 1L/s do 2,2 L/s dok u jesen – proljeće prosječne vrijednosti su se kretale u opsegu od 2 do 4 L/s.

Ekvivalentni broj stanovnika, prema količinama procjednih voda i koncentracijama parametara za navedeni uzorak za koji se vršilo određivanje EBS-a, iznosio je 21 583 EBS, od toga najveći teret onečišćanja donose procjedne vode plitkih drenaža (10 477ES), a najmanje procjedne vode dubokih drenaža (1 713 ES). Procjedne vode prikupljenje u zacjevljenom Lepeničkom potoku imale su relativno konstantan doticaj i teret onečišćenja (9 017 ES). Dotok na postrojenje nije prelazio očekivane količine u odnosu na sva tri kolektora.

EFEKTI PREČIŠĆAVANJA

Kako je već rečeno, na osnovu analiza parametara kvaliteta rada MBR postrojenja u periodu juli 2008 – septembar 2010 godine, sintetizirani rezultati su prikazani kroz efekte prečišćavanja kao :

$$E = \frac{S_0 - S}{S_0} \cdot 100\%$$

gdje je:

S_0 – koncentracija u influentu (mg/L ili druga jedinica)
 S – koncentracija u eflentu (mg/L ili druga jedinica)

Efekti prečišćavanja su prikazani u tabeli 2. Najveći efekt je evidentiran u uklanjanju organskog zagađenja (BPK₅) 92 %, zatim efekt uklanjanja amonijačnog azota je iznosio 89%, mutnoće 93%, suspendovane materije 86%, HPK prosječno 43 % (uz oscilacije od 78% do 11%) i dr.(Serdarević, 2011).

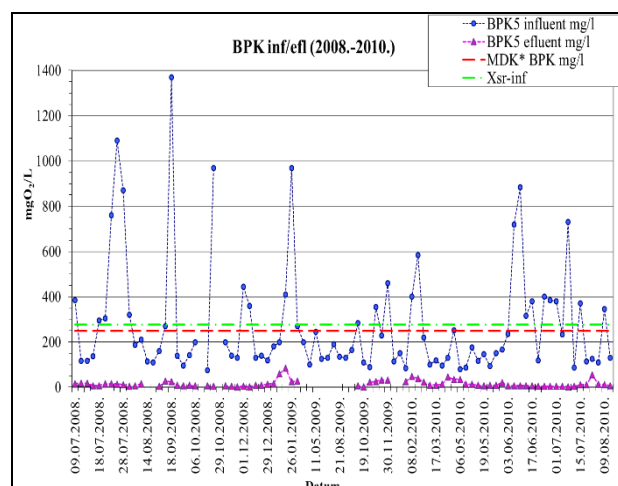
Tabela 2. Efekti prečišćavanja po parametrima

Statistički parametri	Efekti prečišćavanja (%) period 2008 – 2010							
	Susp. materije	HPK	BPK ₅	NH ₄ -N	TKN	Sulfidi	Mutnoća	Elektroprovodljivost
N (br. uzoraka)	66	74	76	76	75	45	41	70
X _{sr} (sr. vrijed.)	86	43	92	89	87	63	93	26
S _{st,dev}	12	15	9	9	8	18	8	11
min % uklanjanja	21	11	56	48	51	19	49	3
max % uklanjanja	99	78	100	100	98	95	100	67

Vrijednosti pojedinih parametara u influentu i eflentu postrojenja su prikazani na slikama 9 do 12.

Što se tiče organskog zagađenja, izraženog preko BPK₅, u influentnu postrojenja vrijednosti su se kretale u opsegu

od 1370 mg/L do 175 mg/L. Efekat uklanjanja organskog zagađenja je iznosio preko 90% što je u granicama za organsko opterećenje starih deponija. Prikaz koncentracija organskog zagađenja u influentu i eflentu postrojenja, u periodu ispitivanja 2008.-2010. je na slici 9.



Slika 9. BPK influenta i efluenta MBR uređaja (Serdarević, 2011)

Vrijednost pH je iznosila oko 8 u influentu postrojenja. Alkalna pH vrijednost je očekivana karakteristika srednje do starih deponija (McGinley i Kmet, 1984). Međutim, usljed procesa u bioreaktorima, pH je opadala do 6 pa je bila neophodna korekcija pH vrijednosti dodavanjem Ca(OH)₂.

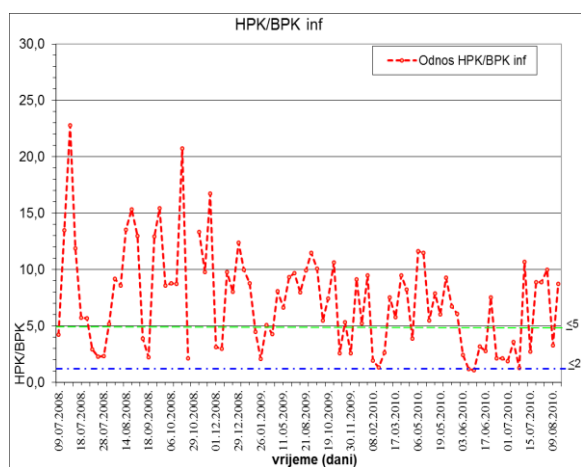
Kako je već pomenuto, za kvalitetan rad biološke jedinice za prečišćavanje, vrlo je bitno poznavati i pratiti odnos HPK/BPK. Tako, prema literaturi (Qasim i Chiang, 1994)., odnos HPK/BPK u procjednim vodama deponija iznosi :

Tabela 3. Odnos HPK/BPK u ovisnosti o starosti deponije

HPK/BPK odnos	Karakteristika
≤ 2	“mlade” deponije, nestabilna faza dekompozicije
10 - 2	Srednje stare deponije, metanogene faze dekompozicije otpada
≥ 10	Stare deponije

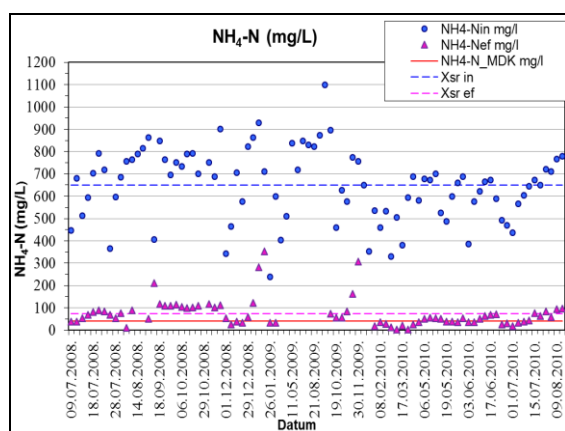
Odnos HPK/BPK na sarajevskoj deponiji se kretao u širokom rasponu od 1 do 22 što potvrđuje složenosti tretmana procjednih voda, složenosti uzorkovanja i

ispitivanja kvaliteta procjernih voda, ali i izbora tretmana. Srednja vrijednost HPK/BPK odnosa je iznosila 7, što odgovara obimu i starosti deponije u Sarajevu. Analizirane oscilacije u odnosima HPK/BPK su vezane za hidrološke uvjete, uvjete odlaganja otpada kao i sadržaj otpada. U toku 2010. godine taj odnos se kretao u opsegu od 2 do maksimalno 10. Ovakav sastav procjernih voda nije pogodan za predviđeno biološko prečišćavanje bez prethodnog obaranja HPK ili dodavanja organske materije. Stoga su i evidentirani problemi u uspostavljanju projektiranih veličina i pogona uređaja. Prikaz odnosa HPK/BPK je na slici 10.



Slika 10. Odnos HPK/BPK (Serdarević, 2011)

Ispitivanja su se odnosila i na pokazatelja rada membrana (proticaj kroz postrojenje, specifični fluks na 15°C, TMP usisa i povratnog pranja, količine permeata) kao i na ocjenu izdržljivosti i upotrebljivosti membrana u primjenom sistemu.



Slika 11. NH₄-N u influentu i efluentu MBR uređaja

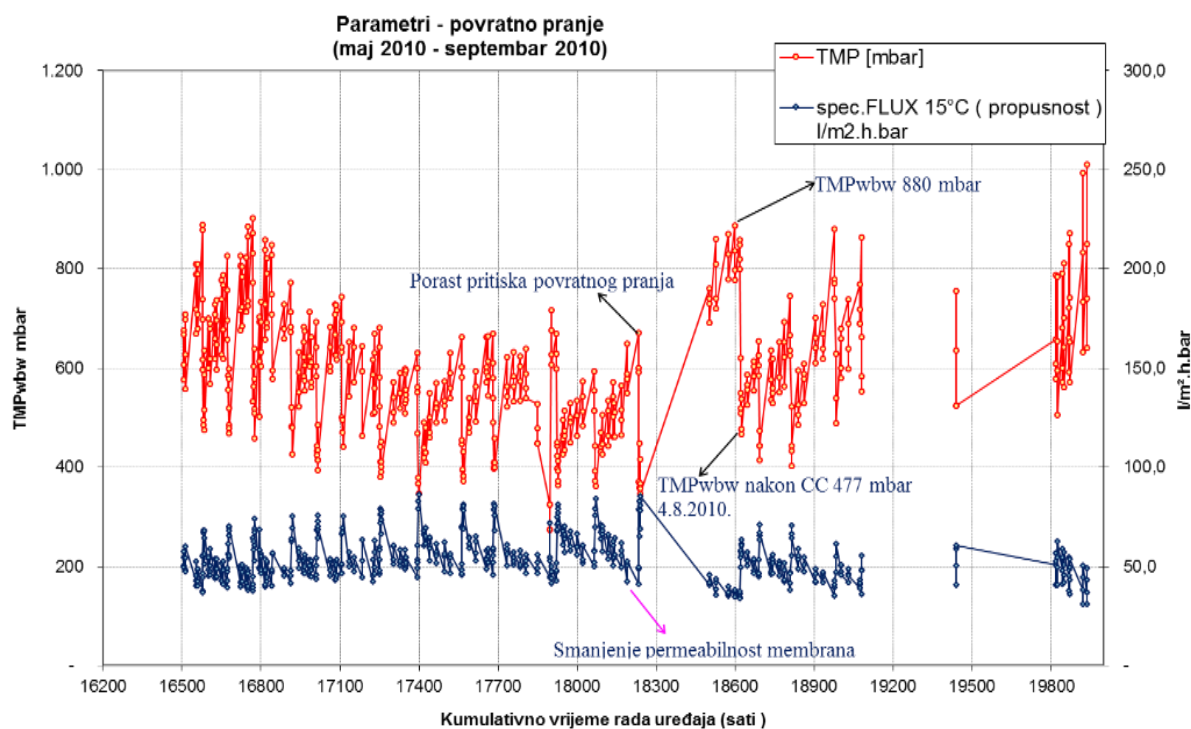
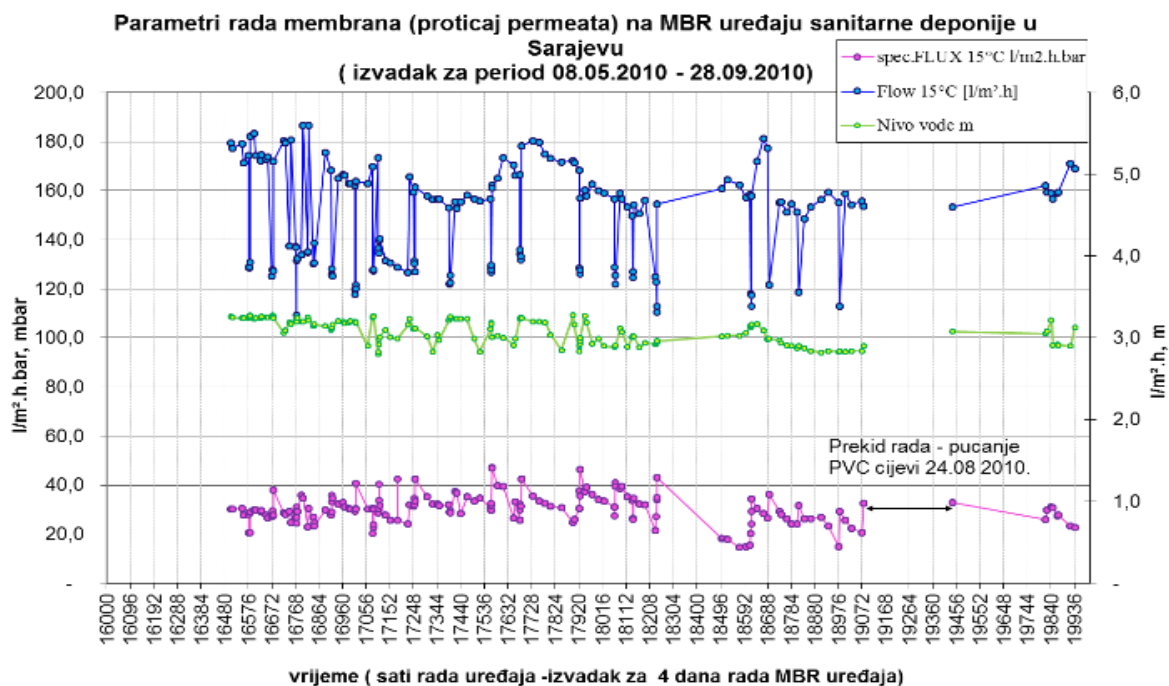
U periodu probnog pogona, praćeni su svakodnevno i parametri vezani za proces rada, a to su: temperatura u rektoru, proticaj kroz membrane, pritisak u normalnom pogonu (usis), pritisak povratnog pranja, količine vode povratnog pranja te neto efluent postrojenja od puštanja u pogon. Na osnovu toga su proračunom dobivene vrijednosti za fluks kroz membrane, specifični fluks na 15°C, kao i transmembranski pritisci (TMP usisa i povratnog pranja membrana). Primjer rezultata rada membrana, pritisaka u pogonu ili povratnom pranju, te permeabilnosti membrana su prikazani na slici 12. U probnom pogonu su zabilježene tri kritične situacije ispadanja membrana iz pogona usljed mehaničkih kvarova, što je prouzrokovalo zastoj i blokade membrana. U sva tri slučaja izvršeno je pranje membrana izvan bioreaktora. Rezultati čišćenja modula su bili vrlo dobri, sa proticajima, na svim registrima, u opsegu od 10 do 20 m³/h, kalcifikati sa površine modula i membranskih vlakana su otopljeni. Iako se očekivalo da će zapunjavanje membrana s unutrašnje strane dovesti do trajnog oštećenja membrana, nakon demontaže i ispiranja membrana, šuplja vlakna membranskih modula su dostigla projektovane proticaje i ponovno su vraćena u pogon. Primjenjena PE šuplja vlakna za mikrofiltraciju su pokazala dobru izdržljivost i mogućnost oporavka i vraćanja u redovan pogon.

REDUKCIJA HPK POSREDSTVOM H₂O₂ (FENTON POSTUPAK)

Kako je u toku pogona utvrđen odnos HPK/BPK₅ procjernih voda sanitarne deponije Smiljevići u opsegu od 2 do 22 pristupilo se analizi mogućnosti obaranja koncentracija HPK na ulazu u postrojenje. Naime, navedeni odnos, između ostalih faktora, utjecao je na uspostavu biološkog prečišćavanja i onemogućio postizanje projektiranih koncentracija aktivnog mulja te pravilnog rada MBR uređaja. Ipak, primjenom MBR uređaja, bez obzira na kvalitet i količine mulja, efekat prečišćavanja je postizao zahvaljujući u većoj mjeri membranskoj separaciji.

Analizirane su mogućnosti za poboljšanje rada uređaja i redukciju vrijednosti HPK hemijskim tretmanom (oksidacija i redukcija) na ulazu u postrojenje.

Ovaj opit je poznat pod nazivom Fenton, gdje se za proces oksidacije koristi H₂O₂ (hidrogenperoksid). Proces bi se mogao uspostaviti kao predtretman gdje bi se reducirala HPK vrijednost na ulazu u postrojenje u danima kada je koncentracija visoka te se time umanjio odnos HPK/BPK₅ u periodima kad je taj odnos izrazito visok i onemogućava proces biološkog prečišćavanja.



Slika 12. Parametri rada membranskih modula, proticaj, spec.fluks, pritisak povratnog pranja (maj-septembar 2010.)

Da bi se ocjenila učinkovitost efekta hemijske redukcije, pristupilo se uzimanju uzorka na deponiji i provođenju Fenton - opita u laboratoriji. Odnos HPK/BPK nakon Fenton opita kretao se u opsegu od 3,5-1,8 što zadovoljava uvjete za biološko prečišćavanje procjednih voda. S obzirom na složenost postupka, neophodno bi bilo izgraditi dodatna dva bazena za miješanje i taloženje vode, a zatim se i pobrinuti za istaloženi mulj i način njegovog izvlačenja i konačnog zbrinjavanja.

Redukcija HPK u procjednoj vodi sanitarne deponije Smiljevići, primjenom Fenton postupka u laboratorijskim uvjetima, pokazala se efikasnom u smislu uklanjanja i postizanja željenog odnosa HPK/BPK₅. Boja je također uklonjena u potpunosti.

Postupak primjene H₂O₂ ima veoma visok stepen složenosti primjene i vođenja, te zahtjeva značajna izdvajanja finansijskih sredstava za obezbjeđivanje hemikalija i pogonskih troškova. Mogućnost primjene Fenton procesa potvrđena je rezultatima opita, ali ujedno je neophodno dokazati ekonomsku i tehnološku opravdanost primjene postupka i mogućnost dogradnje i održavanja takvog postrojenja.

TROŠKOVI POGONA MBR UREĐAJA

Analiza troškova rada postrojenja i cijene 1 m³ prečišćene vode urađena je za period probnog pogona. U analizi cijene m³ prečišćene vode uzeti su i investicioni troškovi, kao i stopa amortizacije. Za troškove koji su evidentirani u toku probnog pogona, dodati su troškovi održavanja i laboratorije, odnosno troškovi pogona. Pri analizi rezultata uzeti su u obzir izuzetno specifični uvjeti rada uređaja, agresivnost vode, sporo uspostavljanje biološkog prečišćavanja, kvarovi koji su iziskivali dodatna pranja, češći ciklusi pranja radi održavanja propusnosti membrana i dr.

Kako u BiH, a i šire u regionu nema podataka o troškovima MBR uređaja za procjedne vode, poređenje rezultata izvršeno je sa MBR uređajem za komunalne otpadne vode u Holandiji sa sličnim teretom onečišćenja (cca. 23 000 ES) ali sa znatno većim protokom i uspostavljenim biološkim prečišćavanjem, tako da je taj uređaj imao manje opterećenje membrana, te manje pogonske troškove. Radi poređenja, korištene su i cijene MBR i konvencionalnog uređaja (produžena aeracija) za komunalne vode porečkog priobalja (od 3500 do 11000 ES). Rezultati po m³ prečišćene vode su prikazani u tabeli 4.

Tabela 4. Pregled troškova MBR uređaja (Serdarević, 2011)

Parametar	Jedinica	MBR Sarajevo	MBR Poreč	Konvencionalni uređaj Poreč	MBR Varsseveld
		BAM	HRK * 0,261 = BAM	HRK * 0,261 = BAM	EUR * 1,95583 = BAM
Ukupno investicija	BAM	2.101.717	10.225.980	9.168.930	21.904.960
Ukupno poticaj	m ³ /god	94.608	455.625	455.625	1.532.650
Ukupni pogonski troškovi (bez amort.)	BAM/god	224.585			1.286.916
Amortizacija	BAM/god	107.780			1.924.507
Ukupni eksploatacioni troškovi	BAM/god	332.365	961.585	861.212	3.211.424
Jedinični eksploatacioni troškovi	BAM/m³	3,51	2,11	1,89	2,10

Zaključak: Cijena m³ prečišćene vode MBR uređaja ovisi u velikoj mjeri od hidruličkog opterećenja, količine prečišćene vode i kvaliteta influenta. Niža cijena se može postići smanjenjem varijabilnih i fiksnih troškova kroz bolji pogon uređaja kao i bolju organizaciju rada na uređaju. Da bi se troškovi pogona smanjili potrebno je ekonomski naći optimum rada postrojenja sa što manjim materijalnim troškovima, a to se u prvom redu odnosi na radni vijek membrana, količine hemikalija, učestalost zamjene filtera, optimizaciju sistema za aeraciju, uštedu električne energije i vode, automatizaciju upravljanja u smjenama i slično.

ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

MBR tehnologija za prečišćavanje otpadnih voda dobiva sve veći značaj i sve češću primjenu, osobito za preradu komunalnih otpadnih voda. Niz je prednosti koje su već dokazane na mnogim uređajima koji su u pogonu. Na širu primjenu MBR uređaja utječe sigurno i svakodnevni razvoj i usavršavanje tehnologije rada membrana, kao i cijena membrana na tržištu te njihov vijek trajanja i troškovi održavanja (Robinson, 2005).

Međutim, iskustva u primjeni MBR uređaja za tretman procjednih voda upućuju na obazriv pristup izboru tehnologije i kombinacijama sa procesima filtracije. Ovo se posebno odnosi na procjedne voda starih deponija gdje je primjena MBR uređaja, bez drugih postupaka i predtretmana, zahtjevan i skup izbor. Sa aspekta praćenja probnog pogona MBR uređaja za tretman procjednih deponijskih voda u Sarajevu, može

se istaći da je koncept rada i pogona instaliranog uređaja pokazao se kao složen, zahtjevan i sa neophodnim obezbjeđenjem značajnih sredstava za pogon i održavanje. Pozitivni efekti prečišćavanja su se postizali uglavnom na račun membranske separacije, dok su uvjeti za uspostavljanje biološkog prečišćavanja bili nepovoljni što je i utjecalo na rezultate i troškove pogona.

Analiza i sinteza rezultata kvaliteta rada membrana u toku probnog rada dala je zadovoljavajuće rezultate u pogledu filtracionih karakteristika i izdržljivosti materijala membrana pri izuzetno velikim opterećenjima i uvjetima pogona.

Također, na bazi analize sastava i količina procjednih voda, neophodno je naglasiti značaj upravljanja deponijom, kontrolama vrsta otpada koji se odlaže, način na koji se otpad odlaže, kao i opcija prekrivanja dijela deponije gornjom multibarijernom zaštitom u cilju smanjenja produkcije filtrata. Takav pristup dovodi do pojave malih količina procjednih voda (npr. 20m³/dan) što se onda može tretirati i skupim, sofisticiranim tehnologijama kao što je reverzna osmoza (sa ili bez MBR predtretmana). Treba imati na umu da su neka od jednostavnijih tehničkih rješenja tipa laguna i recirkulacije filtrata prihvatljivija sa aspekta troškova pogona, složenosti pogona i oscilacija u količinama i kvalitetu procjednih voda, osobito u fazi uspostavljanja deponija.

Generalno se može zaključiti da znanstveni rezultati dobiveni istraživanjima pogona MBR uređaja sa mikrofiltracijom kroz uronjena šuplja vlakna značajni za upoznavanje sa ovom tehnologijom i radom ovakvih uređaja u BiH, a i šire, u smislu pozitivnih, ali i negativnih iskustava. MBR uređaji, prema stečenom iskustvu, mogu postizati dobre rezultate u prečišćavanju otpadnih voda i postizati zahtjevan kvaliteta efluenta postrojenja. Ovo se osobito odnosi na komunalne otpadne vode. Također, MBR, između ostalih, imaju prednosti i u odnosu na potreban prostor za uređaje. Dalja primjena MBR uređaja u BiH, a i šire omogućuje proširivanje stečenih saznanja u ovom domenu.

LITERATURA

- [1] Cvetković, D. i Despotović, M., 2011. Primjena SBR sistema za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda sa parametarskim modelom postrojenja. Vodoprivreda, pp. 79-88
- [2] Farquhar, G., 1988. Leachate: production and characterization. Journal of Civil Engineering 16, Department of Civil Engineering, Univerisity of Waterloo, Waterloo, Ont., Canada, Dec., pp. 50-68
- [3] Judd, S., 2006. The MBR book of Principles and Applications of Membrane Bioreactors in Water and Wastewater Treatment. Oxford: Elsevier
- [4] Li, N.N., Fane G.A., Winston Ho W.S. and Matsura T. (eds), 2008. Advanced Membrane Technology and Applications. New Jersey: John Wiley and sons Inc., ISBN 978-0-471-73167-2 (955 pages)
- [5] Lu, J.C.S., Eichenberger, B. and Stearns, B., 1985. Leachate from Municipal Landfills: production and Management., Poll.Tech.Rev. 119 Noyes Publication, Park Ridge, New Jersey
- [6] Mulder, M., 1996. Basic Principles of Membrane Technology. s.l.:Springer, ISBN 0792342488
- [7] Qasim, S. C. W., 1994. Sanitary Landfill Leachate-Generation, Control and Treatment. s.l.:Technomic Publishing Co., Inc. Pennsylvania, USA: ISBN: 1-56-676129-8
- [8] Rettenberger, G., 2006. Sanitary Landfill Sites in Germany - Status, Problems, Energy Utilisation, Maintenance in the Future. Trier: Fachhochshule Trier, University of Applied Science Trier
- [9] Robinson, A., June 2005. Landfill leachate treatment. Membrane Technology, Cranfield University, UK, pp. 6-12
- [10] spectrumlabs.com/filtration/OC2.jpg (2011) <http://www.spectrumlabs.com/filtration/OC2.jpg>
- [11] Serdarevic, A., 2011. Membransko biološki reaktori u procesu prečišćavanja otpadnih voda, doktorska disertacija., Sarajevo : Građevinski fakultet u Sarajevu, Univerzitet u Sarajevu
- [12] Serdarević, A., 2007. Otpadne vode sanitarnih deponija i postupci njihovog prečišćavanja. Sarajevo : Građevinski fakultet u Sarajevu, Univerzitet u Sarajevu
- [13] Serdarević, A., 2014. Razvoj i primjena MBR tehnologije u procesu prečišćavanja otpadnih voda. Vodoprivreda, No 267-272, pp. 77-89
- [14] Sudar N., Perić M. i Đokić D. , 2012. Postrojenje za prečišćavanje otpadnih voda Bileća po SBR tehnologiji - realizacija i efekti prečišćavanja. Vodoprivreda, NO 255-257, pp. 127-138

[15] WEF (Water Environment Federation), 2006. Membrane Systems for Wastewater Treatment. Washington: WEF Press for Water Quality Professional

[16] WSDE, Washington State Department of Ecology, 2008. Criteria for Sewage Works Design – T6: Membrane Bioreactor Treatment Systems. s.l.: Water Quality Program, Publication No 98-37 Revised August 2008

EFFICIENCY AND OPERATIONAL CONDITIONS OF MBR

by

Amra SERDAREVIĆ, docent
Građevinski fakultet, Univerzitet u Sarajevu
Patriotske lige 30, 71000 Sarajevo, BiH
e-mail: amra.serdarevic@gf.unsa.ba, mob.tel. + 387 61 174 020

Summary

The use of membrane technology in wastewater treatment processes gets a significant position in comparison with other methods of waste water treatment. The positive results of MBR technology are recorded for municipal wastewater treatment as well as for industrial waste water. The use of MBR for the leachate treatment of sanitary landfills (filtrate) are in the research stage and therefore the application of MBR for that purpose is still rather rare.

The composition and concentrations vary considerably depending on the age of the landfill and the type of waste deposited. Very pronounced differences and fluctuations in the composition and quantity of filtrate also depend on a number of other factors so it makes the treatment of waste water even more complex. The general approach to the management of landfill leachate, in developed countries, is the application of a

set of measures and actions that lead to the minimization of creating leachate and for leachate treatment are applied wide range of well-known technical and technological procedures. In the last 10 years the most often used is the SBR technology combined with other pretreatment procedures. In developed countries, the process of multi-stage reverse osmosis (RO) with or without pre-treatment is used with a combination of membrane biological reactors. The MBR technology has been tested also at the device installed for leachet treatment at sanitary landfill in Sarajevo. As an example, results and experience gained through the application of MBR technology in the treatment of leachate are presented.

Keywords: landfill leachate, filtrate, MBR systems, membrane fouling, maintaining of membranes

Redigovano 24.11.2015.