

UPRAVLJANJE PROCJEDNIM VODAMA: PRODUKCIJA, SASTAV, PRIKUPLJANJE I OBRADA

Doc.dr.Amra Serdarević, dipl.inž.građ.

Građevinski fakultet u Sarajevu

Univerzitet u Sarajevu

Patriotske lige 30

71000 Sarajevo

BiH

amra.serdarevic@gf.unsa.ba

Rezime :

Procjedne vode deponija predstavljaju veoma zagađene otpadne vode. Po svom sastavu mogu varirati u širokom dijapazonu, a generalno najveće oscilacije se javljaju zbog starosti deponija, tj utjecaja različitih faza razgradnje otpada. Količine procjernih voda koje se formiraju ovise o veličini deponije, starosti deponije, uvjetima rada, klimatskim uvjetima na lokaciji, sastavu i količini otpada koji se odlaže i dr. Uvjeti za prečišćavanje procjernih voda su propisani zakonskim aktima, a primjena tehnologije za tretman ovisi o količini, sastavu procjernih voda i uvjetima ispuštanja u otvoreni vodotok ili sistem javne odvodnje. U radu je prikazan kratak osvrt na produkciju i sastav filtrata, a dat je pregled tehnologija koje se najčešće primjenjuju za prečišćavanje procjernih deponijskih voda.

Ključne riječi:

Sanitarna deponija, filtrat, tehnologije za prečišćavanje

UVOD

Odlaganje komunalnog otpada na sanitarne deponije, kao opcije zbrinjavanja u sklopu različitih strateških opredjeljenja za upravljanje otpadom, povezano je sa cijelim nizom inženjerskih i okolišnih pitanja koja se neohodno moraju rješavati u toku rada deponije, a i nakon njenog zatvaranja. U prvom redu to je kontrola emisije deponijskog plina i deponijskih procjernih voda koji nastaju kao produk razgradnje otpada i usljed procjeđivanja oborina kroz odložene slojeve otpada.

Kontrola količina i sastava procjernih voda temelj su za dugoročan i stabilan rad sanitarne deponije, uz sve mjere koje se mogu i trebaju primjeniti u cilju minimizacije količina procjernih voda. Tako se u toku izgradnje ili sanacije deponija pristupa izgradnji donjeg multibarijernog izolacionog sloja, u sklopu kojeg se polažu drenažne cijevi za prikupljanje filtrata. Tako prikupljene procjedne vode se dovode do bazena i dalje se pristupa tretmanu procjernih voda prije konačne dispozicije. Danas se na tržištu i u praksi primjenju različiti tehničko-tehnoloških postupci kojima se mogu ukloniti onečišćenja do granica propisanih legislativom za ispuštanje prečišćanih voda. Prikupljene procjedne vode je neophodno tretirati prije ispuštanja u otvoreni vodotok ili kanalizacioni sistem [3].

Biološki procesi sa aktivnim muljem su najčešća praksa za tretman procjernih voda, ali pojedini parametri onečišćenja i dalje ostaju daleko izvan dozvoljenih granica za ispuštanje (HPK, AOX i sl.). To je bio razlog razvijanja drugih tehnologija, odnosno primjene kombinacija tehnologija kao alternativa ili dodatni dio biološkom prečišćavanju procjernih voda. Tako se za tretman procjernih voda sa deponija vrlo često primjenjuju fizičko – hemijski postupci, a razvoj membranskih tehnologija je doveo da prečišćavanjem se mogu dostići uvjeti za pitke vode. Primjenom reverne osmoze ili ultra i nanonfiltracije u postupcima obrade procjernih voda dostižu do tada nemogući efekti uklanjanja složenih spojeva i onečišćenja u procjernim vodama odlagališta. Razvoj membransko biološkog reaktora (MBR tehnologije) koji predstavlja spoj biološkog prečišćavanja i membranske filtracije sredinom 90-tih godina bilježi početak primjene ove tehnologije za tretman procjernih voda. Inovacije u MBR tehnologiji poboljšali su uvjete i primjenu u kombinaciji sa drugim

postupcima prečišćavanja otpadnih voda, a ujedno je došlo do smanjenja cijena membrana i pogonskih troškova uređaja što je omogućilo širu primjenu ove tehnologije.

Iako je danas u pogonu veliki broj postrojenja za obradu procjednih voda, razvoj tehnologija i testiranja različitih kombinacija za prečišćavanje još nije završen. I dalje se za prečišćavanje procjednih voda inoviraju postojeće tehnologije, kombiniraju različiti postupci, primjenjuju različite hemikalije i slično. Paralelno sa aktivnostima na prečišćavanju procjednih voda, razvijaju se i metode za iskorištenje otpada kojima se teži postići smanjenje odlaganja otpada, kontrola vrsta i količina koje se smiju odložiti, a zatim se dalje kontrolira način odlaganja otpada, prekrivanja otvorenih ploha deponije radi smanjenja produkcije procjednih voda. Iako bi trebalo puno više prostora za detaljniji pregled postupaka prečišćavanja procjednih voda, u nastavku je prikazan ukratko pregled raspoloživih metoda, sa akcentom na one koje predstavljaju „*state of the art*“ za obradu procjednih voda u zadnjem desetljeću.



Slika 1. Procjedne vode na sarajevskoj sanitarnoj deponiji – sabirni šaht

PROCJEDNE VODE SANITARNIH DEPONIJ –KOLIČINE I SASTAV

Procjedne vode (filtrat) sanitarnih deponija kućnog otpada su veoma zagađene vode. Nastaju procjeđivanjem oborina kroz slojeve odloženog otpada, zatim dijelom potiču od vode koja se unese u sastavu odloženog otpada, a dijelom nastaju u toku procesa razlaganja otpada.[1] Procjedne vode deponija su uglavnom karakteristične po promjeni sastava koji je povezan sa starošću deponije, tj. odloženog otpada, hidrološkim uvjetima, količinom i sastavom otpada te karakteristikama lokacije na kojoj se odlaže otpad. Otpad od trenutka odlaganja prolazi kroz različite faze razlaganja, a svaka ima određene karakteristike i utječe na sastav procjednih voda i promjenu sastava deponijskog plina.

Primjenom postupaka za sanitarno odlaganje otpada, osigurano je pravilno prikupljanje i tretman procjednih voda U tu svrhu, za sistem prikupljanja procjednih voda i sprječavanje prodiranja u podzemlje, potrebno je izgraditi izolacione slojeve u podlozi deponija (multibarijerne zaštitne slojeve) koji osim vodonepropusnosti imaju zadatak prikupljanje procjednih voda u drenažni sistem. Kako bi se prikupljeni filtrat ispustio u kanalizacioni sistem ili prirodni recipijent, potrebno je obraditi procjedne vode do kvaliteta efluenta propisanog zakonskim aktima [3]. U FBiH, nivo prečišćavanje se određuje prema izboru ispusta, a dozvoljene koncentracije i vrijednosti pojedinih parametara su propisane Uredbom o uvjetima ispuštanja otpadnih voda u okoliš i sisteme javne kanalizacije [3]. Da bi se osiguralo dugoročno i sigurno prikupljanje i tretman procjednih voda, potrebno je u kontinuitetu

kontrolisati količine i sastav procjednih voda, a paralelno provoditi aktivnosti na smanjenju produkcije procjednih voda.

NASTAJANJE PROCJEDNIH VODA – KOLIČINE FILTRATA

Problem prikupljanja i tretmana deponijskog filtrata, čak i u razvijenim zemljama koje smanjuju ili potpuno žele napustiti pristup otvaranju novih deponija, ostaje prisutan na mnogobrojnim aktivnim i zatvorenim deponijama dugi vremenski period.

Procjedne vode su jedan od najvećih problema u pogledu zaštite stanovništva i okoliša od štetnih uticaja i posljedica deponovanja otpada. One direktno ugrožavaju površinske i podzemne vode na području lokacije deponija i u okolini.

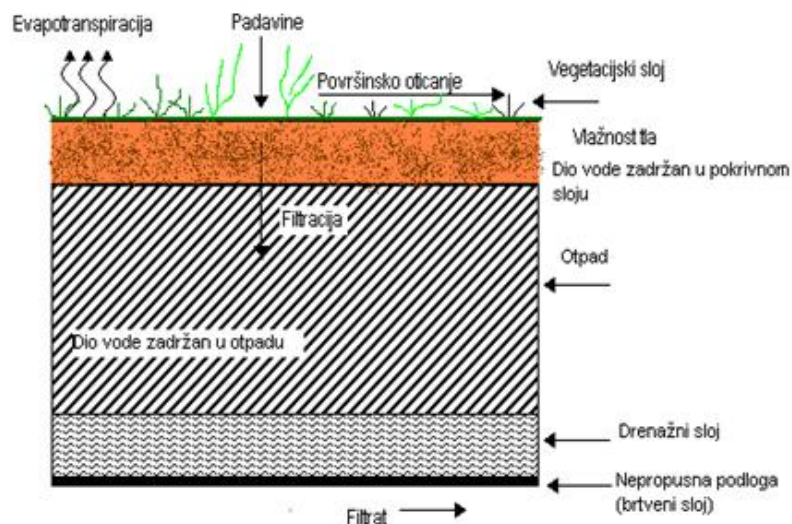
Količine procjednih voda, način njihovog procjeđivanja između ostalih faktora (precipitacija, isparavanje, vrsta otpada, kompaktnost slojeva i dr.) značajno ovise o lokaciji deponije, odnosno o načinu odlaganja otpada i sistemu prikupljanja i odvođenju procjednih voda deponije kao i o drugim faktorima koji značajno utječu na formiranje filtrata.

Ukupne količine filtrata uglavnom se formiraju od vanjskih voda koje prodiru u tijelo deponija te eventualno podzemnih voda koje se mogu već nalaziti u ispod postojećih deponija ili pojaviti na lokaciji. Vanjske vode, koje kod deponija i osobito kod neuređenih odlagališta otpada, mogu ući u tijelo deponija su:

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

Uopćeno, može se reći da vodni bilans sanitarne deponije predstavlja razliku između (slika 2):

- količina vode koje dotiču u tijelo deponije (padavine, podzemni tokovi, recirkulacija filtrata na deponiju);
- količina vode koje izlaze iz ili sa tijela deponije (filtrat, evapotranspiracija).



Slika 2. Shema vodonog bilansa deponije sa završnim slojem bez izolacije [1]

Količina filtrata se može proračunati putem različitih eksperimentalnih metoda i obrazaca, kao i preko razvijenih matematskih modela i računarskih programa koji su danas dostupni na tržištu (HELP i dr.).[1] Maksimalna produkcija deponijskog filtrata se dešava u proljeće, a minimalna u jesen. Iskustveno, količine filtrata veoma često se uzimaju, u optimalnim uslovima, između 5-15% od

prosječnih godišnjih padavina, jer se cca 70% padavina izgubi na isparavanje, a 5-25% se potroši u procesu dekompozicije organske supstance [2].

Sa provođenjem određenih operativnih mjera na deponiji (npr. prekrivanje folijom aktivne plohe, izgradnja obodnih kanala i dr.), prema iskustvima u Njemačkoj, moguće je smanjiti produkciju deponijskog filtrata na 0,2 do 2 m³/ha,dan. Međutim, smanjenje produkcije deponijskog filtrata ima i negativne efekte na razgradnju organskih komponenti otpada u tijelu deponije. Nedostatak vlažnosti u tijelu deponije dovodi do smanjenja mikrobioloških procesa razgradnje organskih komponenti u otpadu, što uslovljava neželjeni proces „suhe stabilizacije“, odnosno „mumificiranja“ organskih komponenti otpada u tijelu deponije [1].

Prema individualnim tehničkim rješenjima i tehničkoj opremljenosti deponije, može se ostvariti kontrolisana recirkulacija deponijskog filtrata u tijelo deponije. Recirkulacija filtrata u tijelo deponije ostvaruje se regulisano doziranje, zadržavanje filtrata na mjestu nastajanja, a ubrzava se razgradnja odloženih organskih komponenti otpada. Ovaj pristup osigurava optimizaciju procesa biološke razgradnje organskih komponenti u odloženom otpadu, čak i dubokim slojevima odloženog otpada, u dužem vremenskom periodu. Međutim, proces recirkulacije filtrata mora se pažljivo provoditi da se ne ugrozi stabilnost tijela deponije [1].

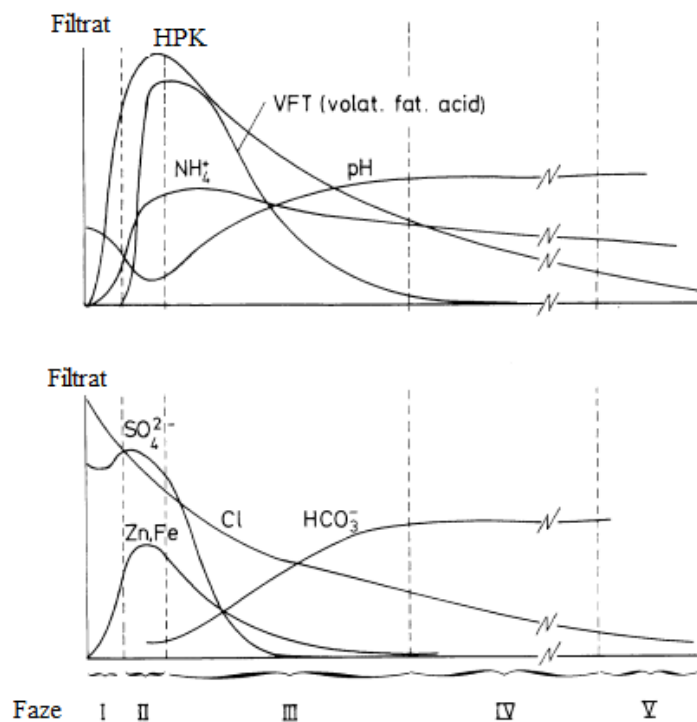
SASTAV FILTRATA

Da bi se mogao odrediti sastav filtrata vrše se fizičke, hemijske i mikrobiološke analize kompozitnih i trenutnih uzoraka procjednih deponijskih voda.

U ovisnosti u prvom redu o starosti deponije, filtrat se može podijeliti na :

- filtrat novih deponija;
- filtrat starih deponija.

Odnosno na „kiseli“ deponijski filtrat i „metanski“ deponijski filtrat.



Slika 3. Hemijski pokazatelji kvaliteta filtrata po pojedinim parametrima u ovisnosti o fazama procesa razgradnje u deponiji [1]

Procjedne vode sanitarnih deponija (filtrat) uglavnom sadrže otopljene organske materije, amonijačni azot, sulfide, hloride i druge štetne supstance, a koncentracije zavise od starosti deponije i vrste otpada koji se odlaže, te od faze dekompozicije otpada. Promjena sastava procjednih voda prema fazama razlaganja otpada prikazana je na slici 3 [1]. Generalno, faze razlaganja otpada su :

- Faza I: Aerobna faza
- Faza II: Kisela faza
- Međufaza III: Nestabila faza/ slaba produkcija metana
- Faza IV: Anaerobna, stabile faza/ produkcija metana
- Faza V: Aerobna faza

Aerobna faza razgradnje: Prva faza aerobne razgradnje organske tvari općenito je ograničenog trajanja, zbog visoke potrošnje kisika u odnosu na ograničenu količinu kisika sadržanog unutar odlagališta (faza I, sl. 3).samo gornji, površinski slojevi svježe istrešenog otpada su uključeni u aerobnu fazu. U ovoj fazi, proteini se razgrađuju u aminokiseline, dakle ugljični dioksid, voda, nitrati i sulfati su tipični kataboliti svih aerobnih procesa. U ovoj fazi dolazi do povećanja temperature, zbog egzotermne reakcije biološke oksidacije.

Anaerobna faza razgradnje: Tri različite faze se mogu identificirati u toku anaerobne razgradnje otpada. Prva faza anaerobne razgradnje je faza kisele fermentacije koji uzrokuje smanjenje pH procjednih voda, znatne koncentracije anorganskih iona (na primjer, Cl, SO₄²⁻, Ca²⁺,Mg²⁺, Na⁺). Procjednih voda iz ove faze karakterizira visoka BPK₅ vrijednosti (obično > 10.000 mg/L), BPK₅/HPK (obično > 0,7) i kisela pH vrijednosti (tipično od 5 - 6), te koncentracije amonijaka (obično 500 do 1,000 mg/L). Faza III, međuaerobna faza (faza III, sl. 3) počinje sa sporim rastom metanogenih bakterija. Koncentracija metana u plinu povećava, dok se koncentracije vodika, ugljičnog dioksida i volatilnih masnih kiselina smanjuju. Pretvorba masnih kiselina uzrokuje povećanje pH vrijednosti i bazičnosti filtrata, s posljedičnim smanjenjem topljivosti kalcija, željeza, mangana i teških metala. Četvrta faza u pogledu anaerobne razgradnje je karakterizirana metanogenom fermentacijom. Raspon pH koje podnose metanoge bakterije je od 6 do 8. U ovoj fazi, sastav procjednih voda odlikuje se gotovo neutralnom pH vrijednosti, niske su koncentracije volatilnih masnih kiselina i ukupno otopljenih materija, dok sastav deponijskog plina čini > od 50% metan. Ovu fazu karakterizira niska vrijednost odnosa BPK/HPK ≤ 0,2(tabela 1). Amonijak je i dalje prisutan u visokim koncentracijama, također i hlorid, sulfati i pojedini teški metali (Hg, Br, Si ..).

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

KARAKTERISTIKE FILTRATA U ODNOSU NA STAROST DEPONIJE			
	Novo deponije	Srednje stare dep.	Stare deponije
STAROST (god)	< 5	5-10	> 10
pH	< 6,5	6,5-7,5	> 7,5
HPK (g/L)	> 10	4-10	< 4
BPK ₅ /HPK	> 0,5	0,1 -0,5	> 0,5
TOC/HPK	< 0,3	0,3 - 0,5	> 0,5
NH ₄ -N (g/L)	> 2	< 2	< 2
Organske materije	80% Vol.masne kiseline	5 - 30 % Volatilne masne kiseline + huminske i fulvinske kiseline	huminske i fulvinske kiseline
Teški metali (g/L)	niske/srednje (>2)	niske (< 2)	niske (< 2)
Biorazgradljivost	dominantna	srednje izražena	niska

RASPOLOŽIVI TEHNIČKO-TEHNOLOŠKI POSTUPCI PREČIŠĆAVANJA FILTRATA

Sastav prečišćenih procjednih voda prije ispuštanja u otvoreni vodotok ili sistem javne kanalizacije, je propisan zakonskim podaktima i prema njemu se određuje tehnologija koja se treba primjeniti da bi se postigli zadovoljavajući efekti prečišćavanja. Što se tiče procjednih voda sanitarnih deponija kućnog otpada, za razliku od komunalnih otpadnih voda, postoji nekoliko karakterističnih parametara koji se moraju ukolniti sistemom prečišćavanja. To su HPK, AOX, NH₄-N, BPK₅, hloridi i sulfidi. Prva dva parametra zahtijevaju obuhvatnija tehničko-tehnološka rješenja, a o tome više riječi u nastavku.

Raspon tehnologija koje su dostupne za prečišćavanje procjednih voda je veoma širok, a većina primjenjenih tehnologija je dokazana u mnogim različitim slučajevima. Tehnologije za preradu su primjenjivane kao samostalna rješenja i kao dio kombinacije procesa. Sastav odlagališta procjednih voda igra odlučujuću ulogu u odabiru odgovarajuće tehnologije.

Biološki procesi prečišćavanja sa aktivnim muljem su dokazani postupci prečišćavanja u mnogim slučajevima, a primjenjuju se kao prvi korak u tretmanu filtrata, za uklanjanje organskih materija i uklanjanje azotnih spojeva. Najčešće su primjenjeni kao SBR, procesi sa aktivnim muljem i denitrifikacijom, membransko biološki reaktori i dr. U novije vrijeme, kao kombinacija biološkom prečišćavanju, dodaje se membranska filtracija (mikro, ultra i nanofiltracija) sa različitim tehničkotehnološkim rješenjima membrana i principa njihove montaže, rada i održavanja. Ovi sistemi u kombinaciji sa biološkim prečišćavanjem su značajno pomakli uvjete prečišćavanja i mogućnosti postizanja kvaliteta efulenta u propisanim granicama.

Kako u procjednim vodama i nakon biološkog prečišćavanja se mjeri visoka vrijednost HPK, to se u kombinaciji tehnoloških postupaka vrlo često primjenjuje još i filteri sa aktivnim ugljem, što je dostatno za dodatno obaranje vrijednost HPK na tražene vrijednosti.[5]

Vrijednost efluenta koje se mogu dobiti primjenom reverzne osmoze su izvan onoga što se može postići s bilo kojim drugim postupkom. Primjenjivost reverzne osmoze (RO) je ograničena 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 sa značajnim sadržajem soli koje se vraćaju u tijelo deponije. Vremenom može doći 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. Prisutnost anorganskih nečistoća i začepljenje membranskih uložaka također ograničava primjenu membranskih tehnologija, pa tako i RO.

Iako su razvijene tehnologije čišćenja membrana u toku upotrebe, još uvijek se kod primjene za procjedne vode mogu desiti totalne blokade i začepjenja sistema.[6]

Hemijsko – fizički postupci kao što je hemijska oksidacija (fenton i sl.) i 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 primjeniti 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.).

Složenost izbora tehnologije, osobito uz različita ograničenja i oscilacije u sastavu procjednih voda čini izbor adekvatne tehnologije izuzetno složenim zadatkom. Uređaji imaju visoke investicione troškove, ali ništa manje značajni nisu ni troškovi pogona i održavanja uređaja 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 procjednih voda i primjenjivost tehnologije u odnosu na pojedine parametre onečišćenja procjednih voda [4].

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

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

(-) niska efikasnost

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

ZAKLJUČNA RAZMATRANJA

Ispuštanje procjednih voda bez prečišćavanja je izuzetna opasnost za okoliš. Mogućnosti zbrinjavanja procjednih voda se kreću od primjene tehničkih rješenja sa recirkulacijom filtrata na aktivnu plohu i u tijelo deponije, zadržavanja u laguni, uparivanja ili spajanja na javnu kanalizaciju i tretmana na gradskom uređaju za prečišćavanje komunalnih otpadnih voda. Međutim, postrojenja za obradu komunalnih otpadnih voda često nisu u mogućnosti prihvatiti procjedne vode bez predtretmana ili ujednačavanja i razblaženja visokih koncentracija amonijaka prije procesa prečišćavanja na postrojenju. U tom slučaju se primjenju različite tehnologije za predtretman procjednih voda ili za potpuno prečišćavanje na nivo kvaliteta efluenta za ispuštanje u otvorene vodotoke.

U svijetu, a i okruženju BiH primjenjuju se najsavremenije tehnike za prečišćavanje procjednih voda, kao što je reverzna osmoza ili MBR tehnologija sa ultrafiltracijom. Ipak, uvidom u literaturu, obilascima uređaja u pogonu i poznavanjem složenosti mehanizma nastanka procjednih voda, može se generalno zaključiti da većina uređaja za prečišćavanje procjednih voda se susreće sa karakterističnim izazovima i poteškoćama u radu koji se uglavnom i rješavaju u toku rada, nadogradnjom sistema i redovnim praćenjem parametara rada uređaja. Uređaji koji su u pogonu većinom zahtjevaju složeno održavanje i kontrolu svake faze prečišćavanja. Neophodno je imati redovne zalihe hemikalija, rezervnih dijelova i dr. Uspostavom kontroliranih, sanitarnih deponija u BiH, dolazi se do nezaobilaznih zahtjeva za zbrinjavanje procjednih voda. Tako se na nekoliko lokacija rješava problem procjednih voda, sa manje ili više uspješnim rezultatima. Sarajevska deponija u tome ima najsloženije probleme zbog svog obima, starosti deponije, a na novim sanitarnim deponijama u Banja Luci i Bijeljini sa uspjehom je primjenjena reverzna osmoza. Odlični rezultati ove tehnologije su očekivani ako se uzme u obzir da se radi o relativno malim količinama procjednih voda (30m³/dan) što je za navedenu tehnologiju odlično primjenjivo. Iskustva u prečišćavanju procjednih deponijskih voda u BiH će biti od značaja za sve naredne projekte sanitarnih deponija i tretmana filtrata u sklopu istih.

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 uslovima ispuštanja otpadnih voda u okoliš i sisteme javne kanalizacije. Sl. novine FBiH br 101/15 i 1/16.
- [4] ISWA, *LEACHATE MANAGEMENT*, Antwerp, Belgium 2015.
- [5] Serdarević, A., *Primjena MBR uređaja za prečišćavanje otpadnih voda*, doktorska teza, Građevinski fakultet, Univerzitet u Sarajevu, Sarajevo, 2011.
- [6] Serdarević, A., *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