

MEMBRANSKI POSTUPCI U PREČIŠĆAVANJU PROCJEDNIH VODA SA DEPONIJAMA KOMUNALNOG OTPADA

Nebojša Knežević¹, Siniša Cukut¹, Saša Dunović¹
s.cukut@institutig.com

¹Institut za građevinarstvo IG, 78000 Banja Luka, Republika Srpska, BiH

Izvod

Jedan od osnovnih problema koji se susreću u praksi prilikom tretmana otpada na deponijama je problem deponijskih procjednih voda. Intenzitet njihove produkcije a time i količine, zavisi od niza faktora: starosti deponije, vrste otpada, mikroklimatskih parametara i sl. Ove otpadne vode se ne smiju ispuštati direktno u okruženje bez prethodnog prikupljanja i tretmana. Voda koji se nalazi u čvrstom otpadu, kao i vode koje se infiltriraju u deponiju formiraju medijum u kome se rastvaraju sve rastvorljive supstance i koji uzrokuje kretanje neizreagovanog materijala naniže, ka dnu deponije. Ove vode su poznate kao procjedne vode. Na hemijske karakteristike procjednih voda utiče biološka razgradnja biorazgradljivih organskih materija, procesi hemijske oksidacije i rastvaranje organskih i neorganskih materija u otpadu.

Ključne riječi: komunalni otpad, deponija, procjedne vode, tretman, membranski postupci

UVOD

Procjedne vode sanitarne deponije, zbog svoje velike ukupne zagađenosti, a prije svega zbog svog visokog organskog zagađenja, predstavljaju značajan ekološki problem, vezan za izgradnju i vođenje sanitarne deponije. Zato se o prikupljanju i prečišćavanju, a za konačno odlaganje ovih otpadnih voda mora se povesti posebna pažnja pri projektovanju ove vrste komunalnih objekata. Ovo pitanje se rješava tako da se obezbjedi potpuna zaštita površinskih i podzemnih voda od zagađivanja.

U savremenoj svjetskoj praksi, problem prečišćavanja i konačnog odlaganja procjednih voda sa deponija, uglavnom se rješava na jedan od sledeća četiri načina:

- Biološko ili fizičko-hemijsko prečišćavanje voda na lokaciji deponije i ispuštanje prečišćene otpadne vode u vodotok;
- Prečišćavanje na lokaciji deponije i konačno odlaganje prečišćene otpadne vode razlivanjem po obližnjem zemljištu;
- Vraćanje prikupljene sirove procjedne vode nazad u tijelo deponije;
- Djelimično prečišćavanje procjedne vode na lokaciji deponije i ispuštanje u gradsku kanalizacionu mrežu.

Za prečišćavanje procjednih voda koriste se razne tehnologije koje se razvrstavaju u tri različite skupine:

- a) biološki postupci:
 - aerobni procesi
 - anaerobni procesi
- b) fizikalni i hemijski postupci:
 - membransko odvajanje (reverzna osmoza, ultrafiltracija, mikrofiltracija, filtracija)
 - flokulacija s taloženjem
 - adsorpcija s aktivnim ugljenom
 - hemijska oksidacija
- c) termički postupci:
 - uparivanje
 - sušenje
 - stripovanje (striping).

Karakteristike otpadnih procjednih voda

Nastajanje procjednih voda

Čvrsti otpad po odlaganju na deponiji razlaže se i modifikuje pod dejstvom fizičkih, hemijskih i bioloških procesa. Pri sprovođenju tehnologije sanitarnog odlaganja, u otpacima se prvo odigravaju fizičke promjene, tj. dolazi do kompresije otpada, a zatim se u toku narednih godina, odvija kontinualnoslijeganje, što je posljedica konsolidacije i njegovog biološkog razgrađivanja. Na ovaj način visina deponovanog sloja se može smanjiti za oko 30%.

U prvom sloju nasutih otpadaka, dok još ima kiseonika u šupljinama, odvijaju se aerobni procesi. Po utrošku kiseonika, dolazi do anaerobnog razlaganja čvrstih otpadaka (proces biotermičkog raspadanja), pri čemu se kao prateća pojava javlja izdvajanje procjednog filtrata i gasova, usljed čega dolazi do slijeganja deponije.

Čvrsti otpaci podliježu trima različitim fazama razlaganja, a u svakoj fazi dominantni su različiti tipovi bakterija.

- ✓ Prva faza razlaganja se odigrava pod dejstvom aerobnih bakterija i praćena je izdvajanjem ugljendioksida, vode i nitrata. Ova faza je okarakterisana niskom vrijednošću pH, visokom proizvodnjom isparljivih kiselina, visokom potrošnjom kiseonika (BPK), visokom provodljivošću i malom proizvodnošću metana.
- ✓ Druga i treća faza se odigravaju pod dejstvom anaerobnih bakterija koje razlažu isparljive kiseline na metan i ugljen dioksid (50:50 približni odnos), što vodi ka povećanju vrednosti pH (7-8) i smanjenju BPK, tj. do ostvarenja anaerobnih uslova. Provodljivost koja je u prvoj fazi bila veoma visoka, tokom druge i treće faze se znatno snižava.

Sastav procjednih otpadnih voda

Voda koji se nalazi u čvrstom otpadu, kao i vode koje se infiltriraju u deponiju formiraju medijum u kome se rastvaraju sve rastvorljive supstance i koji uzrokuje kretanje neizreagovanog materijala naniže, ka dnu deponije. Ove vode su poznate kao procjedne vode. Na hemijske karakteristike procjednih voda utiče biološka razgradnja biorazgradljivih organskih materija, procesi hemijske oksidacije i rastvaranje organskih i neorganskih materija u otpadu. Tako na primjer, reakcije između organskih kiselina i metala daju jone metala i soli, a ugljendioksid poslije dejstva vodenog medijuma rastvara kalcijum i magnezijum, što izaziva povećanje tvrdoće procjednih voda.

Stvarni sastav procjednih voda je veoma teško predvidjeti, jer on zavisi od niza promjenljivih faktora kao što su:

- sastav otpada,
- temperatura i sadržaj vlage,
- putanja tečnosti,
- debljina deponije,
- faze razlaganja otpada,
- mogućnost međuslojeva da apsorbuju i uklone zagađenje kao i
- kvalitet vode koja se infiltrira u deponiju.

Očekivane karakteristike procjednih voda, zavisno od starosti deponije, prikazane su u tabeli br.1:

Tabela 1. Karakteristike procjednih voda u zavisnosti od starosti deponije

Sastav deponijskih procjednih voda	Nova deponija (< 2 godine)		Stara deponija (>10 godina)
	Raspon	Tipične vrijednosti	
BPK ₅ gO ₂ /m ³	2 000 – 30 000	10 000	100 – 200
TOC g/m ³	1 500 – 20 000	6 000	80 – 160
HPK gO ₂ /m ³	3 000 – 60 000	18 000	100 – 500
Ukupne suspendovane materije g/m ³	200 – 2 000	500	100 – 400
Ukupni azot g/m ³	10 – 800	200	80 – 120
Amonijačni azot g/m ³	10 – 800	200	20 – 40
Nitrati g/m ³	5 – 40	25	5 – 10
Ukupni fosfor g/m ³	5 – 100	30	5 – 10
pH	4.5 – 7.5	6	6.6 – 7.5
Hloridi g/m ³	200 – 3 000	500	100 – 400
Sulfati g/m ³	50 – 1 000	300	20 – 50

Tretman procjednih voda (procjedni filtrat)

Izbor i projektovanje procesa tretmana procjednih voda nisu jednostavni. Bitni faktori koji rukovode izborom i projektovanjem sistema tretmana filtrata uključuju:

- definisanje karakteristike procjednih voda (količina i kvalitet);
- analizu mogućnosti konačne dispozicije procjednih voda, te određivanje odgovarajućeg nivoa tretmana;
- izbor procesa prečišćavanja ili procesa koji će postići da kvalitet efluenta zadovoljava zakonsku regulativu i nesmetano ispuštanje u recipijent;
- analizu troškova različitih procesa tretmana, ovisno o izboru konačne dispozicije;
- izbor najboljeg procesa tretmana i dispozicije sa aspekta koštanja, pouzdanosti, fleksibilnosti i ostalih specifičnih zahtijeva.

Izbor tretmana ovisi o zahtijevanom stepenu prečišćavanja u ovisnosti o konačnoj dispoziciji. Tretman procjednih voda tako može biti vrlo intenzivan ili se ograničiti na samo neke jednostavne postupke, prvenstveno u zavisnosti o uslovima upuštanja. Izbor i definisanje procesa tretmana zavisi od konačne dispozicije procjednih voda i može se podijeliti na slijedeće:

1. Upuštanje u površinske vodotoke

Karakteristike i ograničenja efluenta su definisane zakonskim propisima

2. *Upuštanje prečišćenih procjednih voda u kanalizaciju ili dovođenje do postrojenje za tretman komunalnih otpadnih voda*

Izbor predtretmana za upuštanje procjednih voda u kanalizaciju zavisi o kvalitetu filtrata i zakonskim propisima o dozvoljenom upuštanju opasnih materija u gradsku kanalizaciju. Predtretman procjednih voda mora obezbijediti stepen prečišćavanja prema važećim propisima i tek onda biti upušten u kanalizaciju. Isto se odnosi i na dovođenje procjednih voda na postrojenje za tretman komunalnih otpadnih voda. S obzirom na specifičan kvalitet procjednih voda deponije, neophodni su postupci predtretmana, kako se ne bi ugrozio sam proces na postrojenju.

3. *Navodnjavanje prečišćenim procjednim vodama*

Postupci prečišćavanja procjednih voda, prije upuštanja u zemljište su definisani zahtjevanim kvalitetom efluenta, bez štetnog uticaja po stanovništvo i životnu sredinu.

N. Knežević, S. Cukut, S. Dunović

4. *Metoda „zero-discharge“ (bez upuštanja)*

Ova metoda se bazira na recikliranju procjednih voda na tijelo deponije uključujući aktivno procese evaporacije i infiltracije, u smislu prečišćavanja i smanjenja produkcije filtrata bez upuštanja u recipijent, ili odvođenje na neki od postrojenja za tretman.

Period na koji se vrši projektovanje tretmana i dispozicije procjednih voda zavisi o vijeku trajanja deponije, te procijenjene količine i kvaliteta procjednih voda. U razmatranja se uzimaju metode koje mogu biti fazno primjenjene ili modifikovane sa dodatnim jedinicama tretmana, u zavisnosti o eventualnoj promjeni količine i kvaliteta procjednih voda.

Prečišćavanje procjednih voda primjenom membranskih procesa filtracije

Membranska filtracija predstavlja proces fizičkog izdvajanja otopljenih materija iz procjednih voda. Otpadna voda ili neka druga tekućina, prolazeći kroz membranu, oslobađa se čestica sa prečnikom iznad projektovanog. Zaostali koncentrat čestične materije se recirkulira na deponiju, ili se još prosušuje.

Membranska filtracija se dijeli na:

- Mikrofiltraciju (MF)
- Ultrafiltraciju (UF)
- Nanofiltraciju (NF)
- Reverznu Osmozu (RO)

Razlika u procesima je u vrsti tvari i veličini čestica koje se mogu izdvojiti po nabrojanim membranskim procesima. Okvirno, pokazatelji veličina čestica po pojedinim postupcima su slijedeći: reverzna osmoza odvaja čestice od 0,01 do 0,00015 mikrona, a nanofiltracija od 0,001 do 0,01 mikrona. Ultrafiltracija odvaja čestice od 0,1 do 0,003 mikrona. Mikrofiltracija odvaja čestice manje od 3 do 0.05 mikrona.

U oblasti otpadnih voda, u skladu sa Direktivama EU i zakonskom regulativom, postavljeni su sve oštriji zahtjevi za stepen prečišćavanja i maksimalno dozvoljen unos štetnih materija u prirodne vodotoke, te primjena savremenih metoda mikrofiltracije, ultrafiltracije, nanofiltracije i reverzne osmoze dobija sve veću opravdanost.

Dakle, sistem prečišćavanja uz upotrebu membrana se može podijeliti na dvije grupe:

1. *Nanofiltracija (NF) i reverzna osmoza (RO)* - kod ovih sistema se koriste membranski moduli pod pritiskom, uz visok stepen prečišćavanja i recirkulacije koncentrata (25%).
2. *Ultrafiltracija i mikrofiltracija* - ovakva postrojenja su zasnovana na modulima i kasetama potpuno potopljenim u biološke reaktore koji se nazivaju MBR -membranski bioreaktori.

Za postupkeprečišćavanja procjednih voda sanitarnih deponija u svijetu se u posljednjih 10-15 godina, sve više koriste postupci prečišćavanja sa reverznom osmozom i ultra i mikro filtracijom

Reverzna osmoza

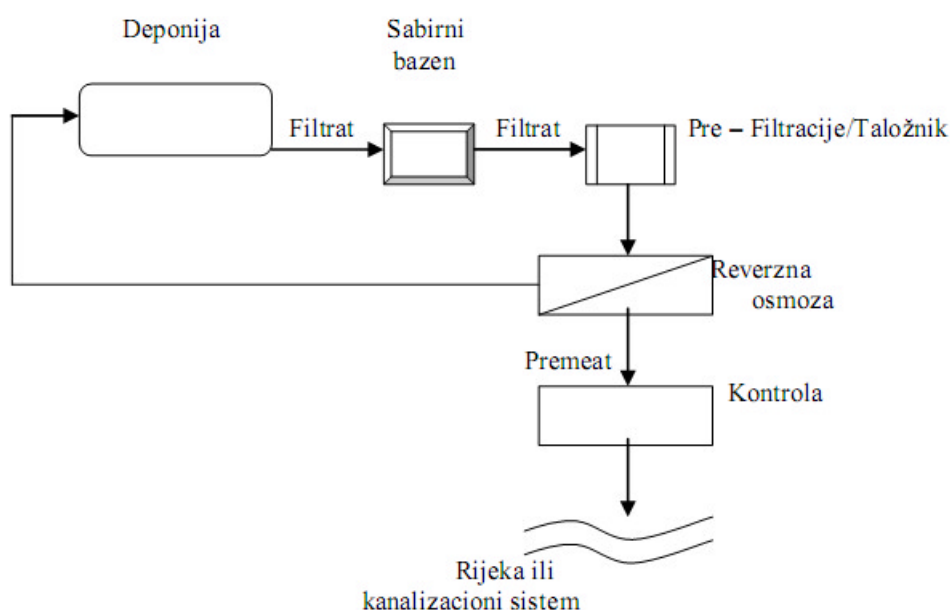
Reverzna osmoza je fizički postupak razdvajanja. Osnova za prečišćavanje deponijskog filtrata reverznom osmozom zasniva se na tome da se sve rastvorljive organske i neorganske supstance mogu zadržati na membrani u iznosu do 98 %. Kroz difuzionu membranu prolazi prečišćeni permeat, a na membrani ostaje koncentrat. Ovaj koncentrat sadrži i dio vode. Permeat koji prođe kroz membranu predstavlja prečišćenu vodu i može se direktno ispuštati u površinske tokove.

Membrana reverzne osmoze djeluje kao barijera, na kojoj se odvija proces prečišćavanja deponijskog filtrata sa jednostavnim i preciznim mjerenjem električne provodljivosti. Primjena ovog postupka prečišćavanja omogućuje visoku sigurnost u funkcionisanju sistema. Potrebni radni pritisak za odvijanje procesa reverzne osmoze ostvaruje se pomoću napojno reverzne pumpe.

Koncentrat sa membrane koji će iznositi cca 15 - 25 % od ukupne količine filtrata će se zbrinjavati na aktivnu plohu na deponiji.

Prednosti reverzne osmoze sa recirkulacijom koncentrata na deponiju su:

- uklanjaju se 90 – 99 % suspendovanih koloidnih čestica, boja, amonijačni azot, teški metali, većina rastvorenih materija, BPK, HPK,
- biohemijski tretman koncentrata kroz filtraciju i adsorpciju,
- jednostavno proširenje kapaciteta i dodatak modula, te fleksibilnost u procesu uspostavljanja različitih kvalitativnih i kvantitativnih parametara.



Slika 1. Šema prečišćavanja procjednih voda postupkom reverzne osmoze
Mikrofiltracija/ultrafiltracija MBR postupak

Mikrofiltracija i ultrafiltracija su metode koje nalaze sve širu primjenu u tretmanu otpadnih voda. Membranski moduli se nalaze potopljeni u bioaeracionim bazenima. Membrane su u direktnom kontaktu sa biomasom koja provodi biološki postupak prečišćavanja otpadne vode. Membrane, bilo ravni moduli ili cjevasta organska vlakna, mehanički su vrlo otporne, a procesom filtracije tretirana voda ima odličan kvalitet. Zamjena klasičnog taložnika sa membranskom separacijom eliminiše ograničenja vezana za taloženje mulja i pojednostavljuju liniju tretmana otpadne vode.

N. Knežević, S. Cukut, S. Dunović

Prednosti primjene membranske mikro i ultrafiltracije za tretman filtrata u odnosu na konvencionalne metode sa aktivnim muljem su :

- Značajno smanjenje organskog zagađenja i azota;
- Uklanja gotovo sve suspendovane materije;
- Uklanja bakterije i patogene mikroorganizme u visokom procentu. U normalnom slučaju filtracija sa medijem (pijeskom) ne dozvoljava zadržavanje čestica čija je veličina manja od 5-10 mikrona. Mikro i ultrafiltracijski moduli imaju pore veličine (0,1-0,6) mikrona radi uklanjanja bakterija i virusa.
- Veliki procenat uklanjanja HPK (zahvaljujući dugom vremenu zadržavanja biomase);
- Manje opreme i pojednostavljenje procesa;
- Potrebno vrlo malo prostora za instalaciju, te se lako prilagođavaju ugradnji u postojeće objekte postrojenja za tretman otpadnih voda;
- Visoke koncentracije biomase sa koncentracijom mulja više od 20gSM/L -30 gSM/L.;
- Visoka koncentracija biomase omogućava veliko zapreminsko opterećenje.

Sam postupak prečišćavanja procjednih voda MBR postupkom odvija se na sledeći način:

- Poslije predtretmana, tj. egalizacije (izjednačavanja) količina i kvaliteta, procjedna voda se prečišćava biološkim postupkom sa aktivnim muljem. Organska zagađenja, azot i fosfor se uklanjaju.
- Membranskom filtracijom se odvaja prečišćana voda od aktivnog mulja. Efluent se odvodi usisnim vodom pomoću pumpi, a višak mulja se direktno odvodi na dalji tretman mulja.
- Održavanje filtracija je ključna tačka MBR procesa. Zasniva se na različitim automatizovanim funkcijama: povratno pranje, propuhivanje i pranje hemikalijama.

Tipični kvalitet efluenta nakon membranske mikrofiltracije, a nakon biološkog tretmana otpadnih voda, odgovara kvalitetu zahtijevanom za ispuštanje u otvorene tokove kao što je dat u tabeli.

Tabela 2. Tipični kvalitet efluenta nakon membranske mikrofiltracije

Parametar	Vrijednost nakon MBR postupka
Suspendovane čestice	< 1 mg/l
Mutnoća	< 0,1 NTU
BPKg	< 5
HPK	<100
Teški metali	> 90% smanjenje
Fekalne koliformne bakterije	5 LRV *)
Enterokoke	5,5 LRV*)
Ukupne koliformnebakterije	6 LRV *)
Giardia ciste	7 LRV *)
Virusi	2,5 LRV*)

*) LRV = logaritamske redukcijske vrijednosti = $-\log(\text{cfU}_{\text{effluent}} / \text{Confluent})$
 cfu = colony forming units (jedinica formiranih kolonija)

Studije istraživanja efikasnosti tretmana deponijskog filtrata [16] supoka za leefikasnost uklanjanja HPK i ukupnog N 90 %- 99,9% u odnosu na opterećenje od 1,7 kg N/m³/dan.

ZAKLJUČAK

Izgradnja sanitarnih deponija na teritoriji Bosne i Hercegovine je korak koji je država preuzela u daljem putu ka pristupanju Evropskoj uniji i ispunjavanju evropskih standarda i direktiva.

Jedan od osnovnih problema koji se susreću u praksi prilikom tretmana otpada na sanitarnim deponijama je problem deponijskih procjednih voda. Ove otpadne vode se ne smiju ispuštati direktno u okruženje bez prethodnog prikupljanja i tretmana. U skladu sa Direktivama EU i zakonskom regulativom, postavljaju se sve oštriji zahtjevi za stepen prečišćavanja i maksimalno dozvoljen unos štetnih materija u prirodne vodotoke, što uslovljava visok stepen prečišćavanja otpadnih procjednih voda.

Prilikom projektovanja objekata za tretmana procjednih voda, veoma je teško tačno utvrditi količinu i sastav procjednih voda. Intenzitet njihove produkcije a time i količine i sastava, zavisi od niza faktora: starosti deponije, vrste otpada, tehnologije odlaganja, mikroklimatskih parametara i sl.

Zbog svega navedenog je veoma važno izabrati tehnologiju koja je fleksibilna na različite količine i sastav procjednih voda, da bi se postigao zahtjevani kvalitet efluenta. Prečišćavanje procjednih voda, postupcima membranske filtracije, omogućavaju visok stepen kvaliteta izlaznog efluenta, koji zadovoljava granične vrijednosti ispuštanja u površinske vodotoke, i u slučaju promjenjivog sastava i količine procjednih voda. Zbog toga se ovi postupci tretmana procjednih voda sve više koriste u svijetu.

N. Knežević, S. Cukut, S. Dunović

LITERATURA

- [1] Environmental Protection Agency, *Landfill Manual, Landfill Site Design*, EPA Ireland, 2000.
- [2] H.J. Ehrig, H. Robinson, *Landfilling: Leachate Treatment in Solid Waste technology & Meanagement* (Eds.T.H.Christensen), University of Denmark, Lyngby Denmark, (2011).,p.p.859-897.
- [3] A. Serdarević, *Otpadne vode sanitarnih odlagališta i postupci njihovog prečišćavanja*,magistarski rad, Univerzitet u Sarajevu, Građevinski fakultet u Sarajevu, (2007).
- [4] N. Černila-Zajec, *Ocena biorazgradljivosti deponijskih izcednih vod z laboratorijskimi in pilotnimi poskusi*, magistarsko delo, Univerza v Ljubljani, fakulteta za kemijo in kemijskotehnologijo, Ljubljana, (2003).
- [5] M. Jahić, D. Hamustafić, *Tretman filtrata na sanitarnim odlagalištama*, „Voda i mi“ Časopis Agencija za vodno područje rijeke Save, Sarajevo (2009)., p.p 10-13.
- [6] *Waste Landfill Directive*. 1999. Council Directive 1999/31/EC, L 182/1, *Landfill of Waste*, Official Journal of the European Communities, Brussels, Belgium.

MEMBRANE PROCEDURES IN COMMUNAL WASTE LANDFILL LEACHATE TREATMENT

Nebojša Knežević¹, Siniša Cukut¹, Saša Dunović¹
s.cukut@institutig.com

¹*Civile Engineering Institute IG, 78000 Banja Luka, Republic of Srpska, B&H*

Abstract

One of basic problems faced in practice of landfill waste treatment is a problem with landfill leachate. The intensity of their production, thus their quantity, depends on numerous factors: landfill age, waste types, microclimatic parameters and similar. This leachate must not be discharge directly into the environment without their previous collection and treatment.

The water found in solid waste, as well as waters that infiltrate into the landfill form a medium that dissolves all soluble substances and causes the unreacted material move downwards, towards the landfill bottom. This water is known as leachate. Leachate chemical properties are influenced by biological disintegration of biodegradable organic matter, chemical oxidation processes and disintegration of organic and non-organic matters found in waste.

Key words: *municipal waste, MW landfill, leachate, treatment, membrane's processes*

