

## PRIMJENA NAPREDNIH OKSIDACIJSKIH PROCESA U PREČIŠĆAVANJU OTPADNIH VODA – FENTON PROCES

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

### REZIME

Napredni oksidacijski procesi (NOP) definiraju se kao procesi obrade vode gdje uz utrošak energije nastaju reaktivni međuprodukti, radikali, koji mogu neselektivno reagirati s organskim spojevima. Od tih vrlo reaktivnih čestica, najznačajniji je hidroksilni radikal, koji kao neselektivni oksidans sa svojim oksidacijskim potencijalom gotovo potpuno pretvara organsku materiju u vodu i CO<sub>2</sub>, odnosno uzrokuje njenu mineralizaciju. Primjeri NOP-a u kojima nastaje hidroksilni radikal su Fenton i Fentonu – slični procesi, oksidacija ozonom, oksidacija vodikovim peroksidom (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), perokson proces (O<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), UV-fotoliza i drugi. Među procesima koji su najčešće ispitivani je Fenton proces koji koristi željezni jon (Fe<sup>2+</sup>) i vodonik peroksid (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) stvarajući hidroksilni radikal (.OH). Hidroksilni radikal je jak oksidant kojim je moguća oksidacija različitih organskih jedinjenja u otpadnoj vodi. Reaktivnost ovog sistema je prvi put zabilježio H.J.H. Fenton 1894. Fenton proces je proces oksidacije koji se primjenjuje vrlo često za tretman industrijskih otpadnih voda. U toku ispitivanja MBR tehnologije za prečišćavanje procjednih otpadnih voda deponije u Kantonu Sarajevo utvrđeno je prisustvo značajnih količina organske materije koje je nemoguće ili vrlo teško ukloniti biološkim postupcima prečišćavanja uz pomoć aktivnog mulja u suspendiranom rastu. Da bi se utvrdile mogućnosti uklanjanja organske materije izražene preko HPK izvršen je proces oksidacije na pripremljenoj seriji uzoraka. U ovom članku je prikazan tok i rezultat primjene Fenton procesa za slučaj uklanjanja teško razgradljivih organskih spojeva iz procjednih voda deponije u sklopu Regionalnog centra za upravljanje otpadom u Kantonu Sarajevo.

**Ključne riječi:** Napredni oksidacijski procesi, Fenton, procjedne vode

### UVOD

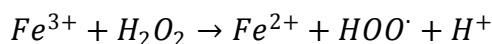
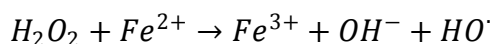
Sastav i osobine otpadnih voda određuju se provođenjem fizičko-hemijskih i bioloških analiza uzoraka otpadnih voda, određivanjem vrijednosti parametara kvaliteta otpadnih voda kao što su: ukupne rastvorene materije (TDS), mutnoća, boja, hemijska potrošnja kisika (HPK), biološka potrošnja kisika (BPK), tvrdoća, pH i dr. Vrijednosti parametara kojima se karakteriše sastav otpadnih voda mogu značajno da variraju u odnosu na tip otpadnih voda, odnosno izvor nastajanja (komunalne otpadne vode, industrijske otpadne vode, procjedne vode deponija). Ispuštanje otpadnih voda, bez tretmana, u vodna tijela značajno ugrožava akvatični život i narušava kvalitet vode prijemnika. Mnogi tehnološki postupci za konvencionalno prečišćavanje otpadnih voda mogu se primjeniti za tretman otpadnih voda. Ove metode mogu kombinovati fizičke, hemijske i/ili biološke procese prečišćavanja. Osnovni zadatak primjenjenih metoda je postići zakonom propisane okvire za ispuštanje prečišćenih opadnih voda u prirodni recipijent ili sistem kanalizacije. Pri tome se kod prečišćavanja komunalnih otpadnih voda najčešće traži uklanjanje čvrstih materija, organskih materija, boje, te uklanjanje nutrijenata.

Međutim, u industrijskim otpadnim vodama i procjednim vodama deponija vrlo često su prisutni teško razgradljivi organski spojevi i druge vrste zagađenja koji su „otporni“ na konvencionalne postupke prečišćavanja otpadnih voda. Hemijska oksidacija, odnosno napredni oksidacijski procesi se često koriste za unapređenje procesa tretmana otpadnih voda primjenom transformacijskih procesa koji uništavaju nerazgradljiva jedinjenja primjenom oksidacije i redukcije. Cilj ovog rada je da prezentira rezultate opita primjene oksidacijskog procesa (Fenton) primjenjenog na uzorku procjedne vode sa sarajevske deponije.

## NAPREDNI OKSIDACIJSKI PROCESI (NOP) – FENTON PROCES

Najpoznatiji napredni oksidacijski proces je Fenton proces koji se zasniva na oksidaciji Fenton reagensom (oksidativna mješavina vodikovog peroksida i  $Fe^{2+}$  soli kao katalizatora). Kombinaciju  $H_2O_2$ /soli željeza (II) je 1894. godine prvi put zabilježio H.J.H. Fenton i opisao kao izvanredno jako oksidacijsko sredstvo koje se u velikom broju hemijskih reakcija i sinteza pokazalo kao korisno. Jako oksidirajuće svojstvo se bazira na posredničkom spajanju OH-radikala sa npr. organskim spojevima [8].

Princip djelovanja Fenton procesa je prikazan sljedećim jednadžbama:



Željezo ( $Fe^{2+}$ ) oksidira sa vodonik peroksidom u  $Fe^{3+}$ , formirajući u procesu hidroksilni radikal i hidroksidni jon.  $Fe^{3+}$  se redukuje nazad u  $Fe^{2+}$ , formirajući hidrogenperoksidni radikal i proton.

Razgradnja organskih molekula odvija se prema vrlo složenom mehanizmu koji uključuje oksidaciju hidroksilnim radikalima, direktnu oksidaciju vodikovim peroksidom i oksidaciju s drugim radikalima te međusobne reakcije između organskih radikala.

### OPIT REDUKCIJE HPK POSREDSTVOM $H_2O_2$ I $FeSO_4$ NA SARAJEVSKOJ DEPONJI

Procjedne vode sanitarne deponije u Sarajevu, gravitaciono se dovode do ulazne građevine gdje se miješanjem ujednačava sastav i količina procjednih voda. Procjedne vode dalje se transportuju do ulaznog šahta na postrojenju za tretman procjednih voda. Doticaj na postrojenje u periodu 2008. – 2011. godine kretao se u opsegu od 0,6 L/s do 8,9 L/s. [7] Za tretman procjednih voda bila je izabrana MBR tehnologija prerade otpadnih voda koja pripada grupi separacijskih procesa s biološkom obradom vode s aktivnim muljem.

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.

Analiza rada MBR uređaja praćena je putem obrade i utvrđivanja 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.

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, BPK<sub>5</sub>, Ukupni N, TKN,  $NH_4-N$ ,  $NO_2-N$ ,  $NO_3-N$ , TP,  $PO_4-P$ , koncentracija mulja (MLSS) u bioaeracionim bazenima. 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 [2]. Na osnovu dobivenih rezultata u probnom pogonu MBR uređaja uočeno je da se osnovni problem javlja u uspostavljanju biološkog prečišćavanja. Formiranje biomase je bilo ispod očekivanih vrijednosti, a sam proces je još više usporavan oscilacijama u dotoku i sastavu procjednih voda. Odnos HPK/BPK<sub>5</sub> procjednih voda sanitarne deponije Smiljevići, u jednom periodu rada MBR postrojenja (od jula 2008. do juna 2009.), varirao je u domenu od 2 do 20. Navedeni odnos je utjecao na uspostavu biološkog prečišćavanja i usporavao rast aktivnog mulja.[7]

Zbog toga se razmatrao prijedlog za hemijski tretman (oksidacija) kojim bi se reducirala teško razgradljiva organska materija i dobio povoljan odnos HPK/BPK<sub>5</sub> za proces biološkog prečišćavanja drugog i trećeg stepena.

Da bi se potvrdio efekat primjene Fenton procesa oksidacije, pristupilo se uzimanju uzorka procjednih voda na deponiji i izvođenju «Fenton» opita u laboratoriji.

Opit je izveden pod voditeljstvom Građevinskog fakulteta u Sarajevu i Laboratorije za vode Agencije za vodno područje slivova rijeke Save 2009.godine.

## PRIKAZ IZVEDENOG OPITA I REZULTATI

Uzimanje uzoraka procjedne otpadne vode (sistem prikupljanja iz tri drenažna sistema u tijelu deponije) izvršeno je na ulazu u postrojenje gdje su priključeni svi drenažni sistemi.

Izmjerene su sljedeće vrijednosti u influentu postrojenja:

1. HPK 840 mg/L
2. Elektroprovodljivost 11 670  $\mu$ S
3. pH 7,4
4. Qinf uk = 3,64 L/sec

U cilju redukcije organske materije izražene preko hemijske potrošnje kisika (HPK), uzorak (1000 ml) procjedne vode deponije Smiljevići je tretiran Fenton postupkom redukcije primjenom  $H_2O_2$ , zajedno sa željezo (II) soli (obično  $FeSO_4$ ), pri početnoj pH-vrijednosti od 3 do 4 i ambijentalnoj temperaturi, a potom se izvršila neutralizacija uz pomoć krečnog mlijeka.

Na osnovu izmjerene vrijednosti HPK izračunavaju se potrebne količine  $H_2O_2$  i željezne soli koje se koriste za provođenje oksidacije.



Slika 1. Priprema uzorka za Fenton postupak [10]

Opit je izvršen na uzorku procjedne vode (1000 mL) (slika 1) i dodavanje 1,75 g  $FeSO_4 \cdot 7H_2O$  uz konstantno miješanje u trajanju od 15 minuta. Proces miješanja i reakcija je praćena stvaranjem pjene u većim količinama.

Kako se radilo o laboratorijskom opitu, to su i količine upotrebljenih hemikalija proporcionalno manje nego što bi se primjenjivale u realnim uvjetima na postrojenju.

Međutim, očito je stvaranje pjene prateća pojava oksidacionih procesa. Stvaranje obilne pjene na postrojenju bi bio složen zadatak za rješavanja kako tehnički tako i kroz troškove antipjenušavca i dr.

Optimalna vrijednost pH za proces oksidacije željeza (II) vodik peroksidom je između 3 i 4 što se postizalo dodavanjem sumporne kiseline ( $H_2SO_4$ ) u odnosu na količinu otpadne vode 1:3.

Korekcija je vršena do vrijednosti pH 3,0 (2,9). Temperatura vode iznosila je 23,4°C.

Vrijednost pH je praćena pH-metrom, uz postepeno dodavanje  $H_2SO_4$  i konstantno miješanje. I pri ovom procesu se stvarala velika količina pjene.

Na 1 L uzorka sa pH vrijednošću 7,4 potrošeno je 8 ml  $H_2SO_4$  do korekcije pH na 3,4. Temperatura vode iznosila je 17,8°C

Zatim je, u toku narednih 15 minuta, postepeno dodato 30%  $H_2O_2$  rastvora (cca.0,4 ml  $H_2O_2$ /min). Kako u metodi izvođenja postupka stoji da se koristi 50% rastvor, a na raspolaganju je bio samo 30% rastvor, to je napravljena proporcija za izračunavanje potrebne količine 30% hidrogenperoksida:

$$3,5ml \dots\dots\dots 50\% H_2O_2$$

$$x ml \dots\dots\dots 30\% H_2O_2$$

$$x = \frac{3,5 * 50}{30} = 5,8 ml H_2O_2 (30\%)$$

U uzorak je zatim dodato 5,8 ml 30% -tnog  $H_2O_2$  nakon čega se nastavilo miješanje na ambijentalnoj temperaturi (20-25 °C) magnetnom mješalicom još 1 h.

Nakon isteka predviđenog vremena, pH vrijednost je bila 3, a temperatura uzorka 20,7°C.

Da bi se izvršila neutralizacija pH vrijednosti, pristupilo se dodavanju krečnog mlijeka uz miješanje oko 2 min (slika 2). Dodavanjem 8,4 ml 10%  $Ca(OH)_2$  izvršena je korekcija pH vrijednosti na  $\geq 8,5$ .



Slika 2. Podešavanje pH vrijednosti do 8,5 [10]

Uzorak je izliven u Imhoffov lijevak ( $V = 1000 \text{ ml}$ ) i evidentirana je zapremina istaložena u vremenskim intervalima u toku 180 minuta. (tabela 1 i slika 3).



Slika 3. Taloženje uzorka u Imhoffovom lijevku (lijevo uzorak na samom početku taloženja a desno, uzorak u Imhoffovom lijevku nakon 17h).[10]

Tabela 1 Rezultati taloženja u Imhoffovom lijevku

Vrijeme taloženja min/h	mL/L	Zapažanja
30'	400	U uzorku se uočava prisustvo dosta sitnih flokula i izlazi gas na površinu tečnosti gdje se formira sloj pjene
60'	290	„
120'	210	„
180'	170	„
17h	76	uzorak se izbistrio

Tabela 2 Rezultati – vrijednosti parametara analiziranih u toku i nakon izvođenja opita

Parametar	Koncentracija nakon opita
boja vode (Pt/Co)	125
amonijak $\text{NH}_4$	598,3 mg/L
nitriti $\text{NO}_2\text{-N}$	9,03 mg/L
nitriti $\text{NO}_2\text{-N}$	0,002 mg/L
Sulfidi	14,6 mg/L
Parametar	Koncentracija
HPK (prije opita u influentu)	840 mg/L
HPK (nakon opita u lab.)	358 mg/L
HPK (poslije 17h nakon opita)	344 mg/L

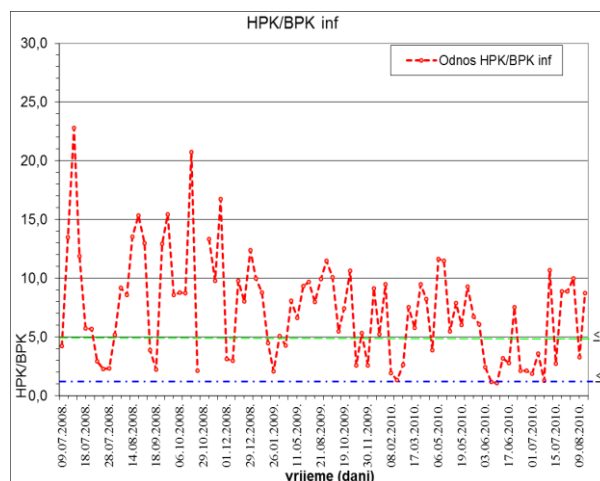
## KOMENTARI PROCESA I REZULTATA

Kako je već pomenuto, za kvalitetan rad biološke jedinice uređaja za prečišćavanje otpadnih voda veoma je značajna dobra biorazgradljivost otpadnih voda što se karakterizira kroz odnos HPK/BPK. Tako, prema literaturi [2]., odnos HPK/BPK u procjdnim vodama deponija široko varira od 2 do  $>10$ .

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

HPK/BPK odnos	Karakteristika
$\leq 2$	“mlade” deponije, nestabilna faza dekompozicije
10 – 2	Srednje stare deponije, metanogene faze dekompozicije otpada
$\geq 10$	Stare deponije

Odnos HPK/BPK na sarajevskoj deponiji u periodu probnog pogona MBR uređaja 2008/2009 godine kretao se u širokom rasponu od 4 do 22 što potvrđuje složenosti tretmana procjdnih voda. Srednja vrijednost HPK/BPK u odnosu na seriju od 30 mjerenja, iznosila je 8, što odgovara obimu i starosti sanitarne 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 3 do maksimalno 10.



Slika 4. Odnos HPK/BPK [7]

Ovakav sastav procjdnih voda je složen za biološko prečišćavanje koje se vrlo teško uspostavlja. Dodatni tretmani kao što su napredni oksidacioni procesi teško razgradljivih organskih jedinjenja, filtracija sa aktivnim

ugljem uz dodavanje eksternih izvora ugljika poboljšavaju rad biološke jedinice uređaja i omogućavaju dostizanje željenih izlaznih parametara postrojenja. Prikaz odnosa HPK/BPK u periodu ispitivanja je dat na slici 4.

Na osnovu rezultata sastava procjednih voda i otežanog uspostavljanja rada MBR uređaja u toku uspostavljanja pogona, pristupilo se razmatranju opcija za poboljšanje rada uređaja. Ispitivanje se odnosilo na primjenu naprednih oksidacionih procesa (Fenton) za prečišćavanje procjednih voda RCUO Smiljevići.

Kako je već navedeno izabran je Fenton proces koji se izveo na uzorku procjedne vode (1000 mL).

Potrebno vrijeme za kompletnu provedbu procesa oksidacije i za optimalno potrobno vrijeme za taloženje iznosilo je cca. 6h.

Hemikalije su dodavane prema recepturi za provođenje Fenton procesa i izvršeno je obaranje koncentracije HPK sa 840 mg/L na 358 mg/L (početni BPK<sub>5</sub> se ne može uraditi odmah ali iskustveno uz koncentraciju HPK 840 mg/L, BPK<sub>5</sub> je procijenjen na cca 100-200 mg/L) što je i potvrđeno kasnijim rezultatima vrijednosti BPK<sub>5</sub> influenta koji je iznosio 100 mg/L)

Odnos HPK/BPK<sub>5</sub> u influentu od 09.04.2009. je iznosio cca 8, a odnos (procjena BPK<sub>5</sub> na 100-200) HPK/BPK nakon Fenton opita se kretao u obimu od 1,8 do 3,5 što odgovara karakteristikama otpadnih voda pogodnih za primjenu sekundarnog, biološkog prečišćavanja.

S obzirom na složenost Fenton postupka, konstatovano je da bi neophodno bilo izgraditi dodatna dva bazena za miješanje i taloženje vode, a zatim i pobrinuti se za istaloženi mulj i način njegovog izdvajanja i konačnog zbrinjavanja.

Osim složenosti mjerenja, kontrole dodavanja hemikalija, potrebnih bazena i prateće opreme i laboratorije, posebno je potrebno istaći i upozoriti na problem skladištenja i rada sa opasnim hidrogen peroksidom i sumpornom kiselinom, te potreban broj uposlenika koji bi trebali biti angažovani na postrojenju i provođenju Fenton postupka.

Uporedo sa analizom rezultata opita u tehnološkom smislu, izvršena je i analiza troškova hemikalija (bez dogradnje postrojenja, laboratorije, radne snage i pogonskih troškova), a na osnovu laboratorijskog

utroška svih potrebnih hemikalija za Fenton postupak. Napravljenja je okvirna cijena utroška materijala za godinu dana za primjenu uklanjanja HPK po Fenton-postupku po 1m<sup>3</sup> procjedne vode (za HPK cca 1000 mg/L, uz napomenu da je najčešće između 1500 mg/L i 2000 mg/L što proporcionalno povećava koštanje).

Cijene hemikalija koje su tada bile dostupne za tržište u BiH su otprilike 50% skuplje od predračuna dobivenog od dobavljača u Austriji. Na osnovu stvarne potrošnje hemikalija za Fenton proces primjenjen na količinu procjednih voda od 3,5 L/s, cijena tretman ovim procesom je iznosila od 15 EUR/m<sup>3</sup> do 30 EUR/m<sup>3</sup> (zavisno od cijena u Austriji odnosno u BiH). U literaturi se pojavljuju i cijene primjene Fenton procesa i do 5 EUR/m<sup>3</sup> što ovisi o nabavnim cijenama hemikalija, potrošnji na godinu dana tj. sastavu otpadnih voda.

Izračunati iznos je predstavljao grubu procjenu troškova za primjenu Fenton procesa, a formirana je cijena na osnovu količina potrošenih u laboratorijskim uvjetima. Troškove provođenja Fenton procesa bi svakako trebalo detaljno analizirati za svaki slučaj primjene počevši od laboratorijskih opita pa do troškova za primjenu na postrojenje u radu.

Osim hemikalija za Fenton, u obzir se treba uzeti i trošak svih ostalih hemikalija koje su potrebne za svakodnevno ispitivanje i podešavanje kompletnog sistema (ispitivanje HPK, BPK<sub>5</sub>, AOX, tenzida, pH, boje vode..) na osnovu čega se vrši doziranje svih gore navedenih hemikalija.

Ovo naravno spada u redovne pogonske troškove, ali je neophodno još jednom naglasiti da su pogonski troškovi svakog uređaja za tretman otpadnih voda uvijek dosta visoki.

Kako bi se smanjili troškovi provođenja Fenton procesa moguće je poboljšati primjenu procesa kroz:

- određivanje granica u sastavu otpadnih voda kada se mora primijeniti Fenton proces i dinamika primjene Fenton procesa (definisane skokove u koncentraciji organske materije),
- određivanje optimalne koncentracije HPK koja bi se trebala dostići nakon primjene Fenton procesa,
- optimiziranje količine H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> i dužine vremena reakcije oksidansa u otpadnoj vodi (povećati dužinu reakcije sa 2h na više),
- kontrola dodavanja (često se dodaju veće količine) kiseline radi korekcije pH vrijednosti,

- kontrola dodavanja kreča radi korekcije pH ( nije neophodno dostići pH 8,5. bitno je da je  $pH > 7$ ),
- mjerenje BPK se treba vršiti i prije i nakon procesa.

Fenton proces može stabilizirati MBR proces ili generalno biološki proces prečišćavanja u smislu izravnavanja „skokova“ u koncentraciji biološki nerazgradljivih organskih jedinjenja (izražnih preko HPK) i poboljšati biološki razgradljivu frakciju u procesu prečišćavanja otpadnih voda.

Potrebno je ispitati uvjete za primjenu Fenton procesa, troškove primjenjivosti procesa i nakon provedenih opita na uzorku otpadne vode donijeti odluke o primjenjivosti procesa.

Proces, priprema, realizacija Fenton procesa se mora voditi stručno, uz kontrolu i analize u dobro opremljenom pogonskom laboratoriju uz postrojenje, sa obučanim osobljem koje će sve korake provođenja Fenton procesa pratiti i dozirati hemikalije prema stvarnoj potrebi.

## ZAKLJUČAK

Redukcija HPK u procjednoj vodi sanitarne deponije Smiljevići, primjenom Fenton postupka se pokazala efikasnom u smislu uklanjanja i postizanja željenog odnosa HPK/BPK<sub>5</sub> i za uklanjanje boje (huminske kiseline i dr.), U toku opita vodilo se računa o smanjenju HPK, ali se ujedno, redukcijom nisu smanjile koncentracija amonijaka i sulfida u efluentu. Za tretman ovih i nekih drugih parametara bi bilo potrebno uraditi još neke postupke.

Postupak primjene H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> se može ocijentiti kao vrlo složen proces za vođenje, zahtijeva izgradnju dodatnih bazena, mješalica, taložnika, svakodnevno mjerenje HPK i drugih parametara, izračunavanje potrebnih količina hemikalija za proces, detaljno vođen i praćen proces od strane visokoobrazovanog stručnog kadra te značajna izdvajanja finansijskih sredstava za obezbjeđivanje hemikalija i pogonskih troškova.

S obzirom na oscilacije odnosa HPK/BPK<sub>5</sub> u procjednoj vodi sanitarne deponije Smiljevići, razmatrane su i druge mogućnosti za predtretman filtrata, dodavanje eksternih izvora ugljika radi korekcije biodegradibilne frakcije otpadnih voda, kombinacija filtracije i reverzne osmoze, primjene aktivnog uglja što je i dalje aktuelni zadatak rekonstrukcije uređaja za tretman procjednih voda u sklopu RCUO Smiljevići ( Kanton Sarajevo).

Mogućnost primjene Fenton procesa na procjedne vode deponije je potvrđena opitom, ali se naglašava neophodnost ekonomske i tehnološke analize opravdanosti primjene postupka, mogućnost poboljšanja uvjeta za provedbu procesa, te uvjeta rada i održavanja takvog postrojenja.

## LITERATURA

- [1] 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.
- [2] Qasim, S. C. W., 1994. Sanitary Landfill Leachate-Generation, Control and Treatment. S.I.:Technomic Publishing Co., Inc. Pennsylvania, USA: ISBN: 1-56-676129-8.
- [3] Robinson, A., June 2005. Landfill leachate treatment. Membrane Technology, Cranfield University, UK, pp. 6-12.
- [4] Serdarević, A., 2009., Izvještaj o izvedenom opitu redukcije HPK u procjednoj vodi sanitarne deponije Smiljevići posredstvom H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> i soli željeza (II) (Fenton postupak), Građevinski fakultet, Sarajevo
- [5] Serdarevic, A., 2011. Membransko biološki reaktori u procesu prečišćavanja otpadnih voda, doktorska disertacija,. Sarajevo, Građevinski fakultet u Sarajevu, Univerzitet u Sarajevu.
- [6] Serdarević, A., 2007. Otpadne vode sanitarnih deponija i postupci njihovog prečišćavanja. Sarajevo, Građevinski fakultet u Sarajevu, Univerzitet u Sarajevu,.
- [7] Serdarević, A., 2014. Razvoj i primjena MBR tehnologije u procesu prečišćavanja otpadnih voda. Vodoprivreda, No 267-272, pp. 77-89.
- [8] Solvay Interlox “POKUSAJ REDUKCIJE HPK POSREDSTVOM H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>», -Tehnicka informacija FA1.4.16
- [9] Agencija za vodno područje slivova rijeke Save, Laboratorija Butile, Interni zapisnik i izvještaj o Fenton opitu, Sarajevo, 17.04.2009.
- [10] Babić F., Serdarević A. , Fotografije izvođenja opita i zabilješke, Laboratorija Agencije za vodno područje slivova rijeke Save, Sarajevo, 16.04.2009.

## APPLICATION OF ADVANCED OXIDATION PROCESSES FOR THE WASTEWATER TREATMENT – FENTON PROCESS

by

Amra SERDAREVIĆ, assoc.prof.  
Faculty of Civil Engineering, University of Sarajevo  
e-mail: amra.serdarevic@gf.unsa.ba

### Summary

Advanced oxidation processes (AOXs) are often used for the treatment of industrial wastewaters and they are defined as water treatment processes where, with the consumption of energy, reactive intermediates are formed (radicals), which can indiscriminately react with organic compounds. Out of these very reactive particles, the most important is the hydroxyl radical, which, as a non-selective oxidant, with its oxidation potential almost completely transforms organic matter into water and CO<sub>2</sub>, causing its mineralization. Examples of AOXs in which the hydroxyl radical is formed are Fenton and Fenton – similar processes, ozone oxidation, hydrogen peroxide oxidation (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), peroxon process (O<sub>3</sub> + H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>), UV photolysis and others. Among these processes the most frequently examined is the Fenton process that uses iron ions (Fe<sup>2+</sup>) and hydrogen peroxide (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>) to create a hydroxyl radical (OH). Hydroxyl radical is a strong oxidizing agent that allows the oxidation of various organic compounds in wastewater. The reactivity of this system was recorded

for the first time by H.J.H. Fenton 1894. The Fenton process is a process of oxidation that is applied very frequently for the treatment of industrial wastewater. During the examination of the MBR technology for treatment of waste water, the presence of significant amounts of organic matter was found that was impossible or very difficult to remove by biological treatment processes with active sludge in suspended growth. In order to determine the possibility of removal of organic matter expressed through COD, the oxidation process on the prepared sample series was carried out. This article presents the flow and the result of the application of the Fenton process in the case of the removal of heavily degradable organic compounds from leachate of the landfill at the Regional Centre for Waste Management in Canton Sarajevo.

Key words: Advanced oxidation processes, Fenton, leachate

Redigovano 5.11.2018.