

UTICAJ ELEKTRODNOG MATERIJALA NA ANODNU OKSIDACIJU CIJANIDNIH OTPADNIH VODA

B. Malinović¹, M. G. Pavlović², J. Mandić²

¹Univerzitet u Banjoj Luci, Tehnološki fakultet, Banja Luka RS, BiH

²Univerzitet u I. Sarajevu, Tehnološki fakultet, Zvornik, RS, BiH

ISSN 2232-755X

UDC: 669.716.915:628.161.2

DOI: 10.7251/GHTE1309021M

Originalni naučni rad

Anodna oksidacija je elektrolitička elektrodna reakcija. Ovim postupkom se uspješno vrši oksidacija cijanidnih otpadnih voda. Anodna oksidacija cijanida zavisi od gustine struje, sastava rastvora, radne temperature itd., a najviše od elektrodnog materijala. Cijanidi su veoma reaktivna jedinjenja koja u obliku cijanovodonika (HCN) predstavljaju izuzetno smrtonosan gas u vlažnim i kiselim uslovima. Pored toga, velika količina cijanida se koristi u rudarstvu, metalo-prerađivačkoj i elektronskoj industriji. Budući da su cijanidi vrlo reaktivni, lako se vežu za metal kao ligand u obliku kompleksa različite stabilnosti i toksičnosti. Budući da ta jedinjenja mogu izazvati veliku štetu za ljude i organizme ako dođu u zemljište i podzemne vode, otpad koji sadrži cijanide treba tretirati vrlo pažljivo za to pogodnim metodama.

Ključne riječi: cijanidni joni, otpadne vode, anodna oksidacija, elektrodni materijal.

UVOD

Cijanidu su veoma reaktivna otrovna jedinjenja koja u vlažnim i kiselim uslovima grade smrtonosni cijanovodonični gas (HCN) koji utiče na disajne organe i izaziva "gušenje" ćelija. Pored toga, velika količina cijanida se koristi u metaloprerađivačkoj, elektronskoj industriji i rudarstvu. Ukupna količina cijanidnih otpadnih voda koja se ispusti u toku godine je procjenjena na više od 14 miliona kg/godinu [1]. Pošto je cijanid veoma reaktivan, on lako vezuje metale kao jak ligand i formira komplekse različite stabilnosti i toksičnosti [2]. Ova jedinjenja nanose veliku štetu na ljude i organizme ukoliko dospiju u zemljište i podzemne vode. Otpadne vode koje sadrže cijanide moraju se tretirati veoma oprezno i odgovarajućim metodama. Zbog široke upotrebe cijanida metode njihovog razaranja iz otpadnih voda su od velikog značaja. Postoji mnogo mogućih načina za tretiranje otpadnih voda koje sadrže cijanide. Neki od njih su više, a neke manje ekološki prihvatljive od ostalih. Do sada najčešće korišćen tretman je alkalna hlorinacija, a u zadnje vrijeme to su degradacija uz vodonik peroksid, ozon, SO₂/vazduh (INCO proces), fotokatalitička oksidacija, cijanidna biodegradacija, elektrodijaliza, reverzna osmoza i elektrolitički tretman [3-9]. Prilikom izbora odgovarajuće metode za detoksikaciju cijanida mnogi faktori utiču na troškove i vrijeme trajanja procesa. Ti faktori su najčešće potrebni reagensi, oprema i inženjering, operativni troškovi, troškovi licenciranja i početna koncentracija cijanida [9].

Elektrolitički postupak obrade otpadnih voda je tehnika u kojoj otpadne vode tretiramo primjenom električne energije kroz elektrode u elektrohemijском reaktoru. Degradacija cijanida pomoću elektrohemijского tretmana predstavlja alternativu tradicionalnoj hemijskoj oksidaciji. Za uklanjanje slobodnih cijanida uspješno je korišćeno više različitih elektrodnih materijala (Pt, Ti/Pt, PbO₂, itd.) [3,8,10]. Svi oni manifestuju sklonost ka elektrolitičkoj oksidaciji cijanida. Elektrolitički tretman je zapravo kombinacija mnogih procesa kao što su: anodna oksidacija, elektro-koagulacija, i elektro-flotacija. Anodnom oksidacijom dolazi do stvaranja jona iz elektroda procesom oksidacije. Elektro-koagulacija je proces u kome dolazi do neutralizacije naelektrisanja elektrohemijским tretmanom. Elektro-flotacija je proces gdje se metalni joni oslobođeni iz elektroda talože u kombinaciji sa hidroksidima zajedno sa česticama polutanta. U procesu elektro-flotacije mjehurići gasa (stvara se vodonični gas) se generišu na elektrodama u elektrohemijском reaktoru. Elektrohemijaska tehnologija takođe nudi alternativu korišćenju metalnih soli ili polimera i upotrebi polielektrolita u razaranju stabilnih emulzija i suspenzija [11].

Osnovni parametri elektrolitičkog tretmana su: elektrodni materijal, dizajn elektrohemijского reaktora, gustina struje, pH-vrijednost, provodljivost elektrolita, temperatura. Gustina struje je struja isporučena elektrodi podjeljenoj na aktivne oblasti površine elektrode. Uključuje elektrohemijisko doziranje metala i elektrohemijisku proizvodnju gasa. Različite gustine struja mogu biti poželjne u različitim situacijama, te je za izbor svakog elektrodnog materijala za određeni polutant bitan uticaj gustine struje na efekat degradacije polutanta [12]. Pored navedenih parametara, primjećeno je da dodatak pojedinih anjona (u obliku neorganskih soli) dovodi do promjene efikasnosti elektrolitičke

* Korespondentni autor: Borislav Malinović, Univerzitet u Banjoj Luci, Tehnološki fakultet, Stepanovića 73, 78000 Banja Luka, borislav.malinovic@unibl.rs

Rad je izložen na međunarodnom naučnom skupu *X Savjetovanje hemičara, tehnologa i ekologa Republike Srpske*, u Banjaluci, novembar 2013.

degradacije različitih polutanata (uticaj na provodljivost elektrolita, pojava raznih intermedijera, formiranje flokulanata ili koagulanata i sl.) [13,14].

Vrsta elektrodnog materijala prevashodno zavisi od elektrohemijske tehnike koja se koristi, pa tako za regeneraciju metala često se koriste čelične i dimenzionalno stabilne anode (DSA).

Za elektrokoagulacioni tretman elektrode su obično napravljene od aluminijuma ili gvožđa u obliku ploča ili pakovanog otpadnog materijala istih elemenata. Pošto je definisana neophodna količina metalnih jona koja se zahtjeva za efikasno uklanjanje prisutne količine polutanata, uobičajno je da se gvožđe koristi kao elektroda kada se tretiraju otpadne vode, a aluminijum pri tretiranju pijaćih voda iz razloga što je gvožđe jeftinije. Aluminijumske elektrode nalaze primjenu i u tretiranju otpadnih voda, i to same ili u kombinaciji sa elektrodama od gvožđa jer je efikasnost Al^{3+} jona kao koagulanta velika [15]. Kada je u vodi prisutna značajna količina jona kalcijuma ili magnezijuma, kao materijal za katode preporučuje se nerđajući čelik [16].

Kod elektroflotacije najveći uticaj ima raspored elektroda. Pošto je za ovu tehniku bitna i veličina mjehurova gasa, često se koriste DSA titanijumske elektrode, grafit, olovo oksid, TiO_2 - RuO_2 , Ti/IrO_x - Sb_2O_5 - SnO_2 [17-21]. Kada je ova tehnika u kombinaciji sa elektrokoagulacijom to su gore pomenute elektrode za elektrokoagulaciju.

Zavisno da li je direktna ili indirektna elektrooksidacija, kod ove tehnike koriste se različite elektrode (nerastvorne ili rastvorne). Anodna aktivnost zavisi od vrijednosti prenapetosti izvajanja kiseonika na određenoj elektrodi. Poznato je da IrO_2 , Pt i grafit pokazuju manje vrijednosti prenapetosti izvajanja kiseonika. To nam govori da se efektivna oksidacija polutanata na ovim anodama javlja pri manjim gustinama struje ili u prisustvu visokih koncentracija hlorida ili metalnih medijatora. Pri visokim gustinama struje značajno je smanjenje efikasnosti struje i očekivano je izdvajanje kiseonika. Borirani dijamant (BDD) nanet kao film na osnovi titana [22] ili drugi metali kao što su DiaChem elektrode [23] daju visoke vrijednosti prenapetosti izdvajanja kiseonika. Stoga se kod njih mogu primjeniti visoke gustine struje sa minimalnim izdvajanjem kiseonika pa je to efikasan i efektivan proces.

MATERIJAL I METODE RADA

Za eksperimentalna istraživanja korišćen je komercijalno dostupan 95% natrijum cijanid ($NaCN$), proizvođača Acros Organics, Belgija i 98 % natrijum hidroksid ($NaOH$) proizvođača Lachner, Češka. Sve navedene hemikalije su p.a. stepena čistoće. Za pripremu sintetske cijanidne otpadne vode određene koncentracije korišćen je 0,01 M rastvor natrijum hidroksida ($NaOH$), a kao elektrodni materijal korišćeni su sljedeći materijali: *čelik* (Č.0147; max. 0.08% C, max. 0.12% Cr, max. 0.45% Mn, max. 0.60% Si), *nerđajući čelik* (EN 1.4301/AISI 304), *aluminijum* (Al 99.5/EN AW-1050 A; max. 0.25% Si, max. 0.40% Fe, max. 0.05% Cu, max. 0.05% Mn, max. 0,05% Mg, max. 0.05% Ti, max. 0.07% Zn, min. 99.50% Al), *legura aluminijuma* (EN AW- $AlMg_3$; max. 0.40% Si, max. 0.40% Fe, max. 0.10% Cu, max. 0.50% Mn, 2.6-3.4% Mg, max. 0.30% Cr, max. 0.20% Zn, ostatak Al), *titanijum* (99,99% Ti) i *platinizirani titanijum* (Ti – grade 2; 2,5 μm Pt, Metakem, Njemačka). Elektrohemijski reaktor je napravljen od polipropilena (visina 95 mm, diameter 71 mm) zapremine 250 cm^3 sa mogućnosti konstantnog mješanja (500 o/min) u koji su postavljene dvije elektrode istih dimenzija. Obje elektrode su napravljene od metalnog lima dimenzija 80 mm x 30 mm x 1 mm. Ukupna korisna površina elektrode je 30,4 cm^2 , a međusobno rastojanje iznosi 30 mm. Elektrode su povezane na digitalni izvor napajanja (Atten, APS3005SI; 30V, 5A) sa potenciostatskim ili galvanostatskim operativnim opcijama.

Svi eksperimenti su rađeni na početnoj temperaturi uzorka od 25° C i sa zapreminom sintetske otpadne vode od 200 ml. Pred svaki tretman gustina struje je podešavana na željenu vrijednost. Prije svakog tretmana elektrode su mehanički očišćene te prane sa deterdžentom i acetonom radi uklanjanja površinskih masnoća, a nečistoće sa elektrodnih površina su uklonjene uranjanjem (5 min.) u razblaženi rastvor HCl. Pripremljeni uzorak sintetizovane otpadne vode je prije i poslije tretmana analiziran na sljedeće parametre: sadržaj slobodnih cijanida, ukupno rasvorenne supstance (TDS), pH-vrijednost, otpornost elektrolita (R) i provodljivost. TDS , R , pH-vrijednost, provodljivost i sadržaj slobodnih cijanida su određene u skladu sa standardnim metodama (Standard Methods for Examination of Water and Wastewater) [24]. pH-vrijednost, TDS i provodljivost je određena na multimetru (Consort C861).

REZULTATI I DISKUSIJA

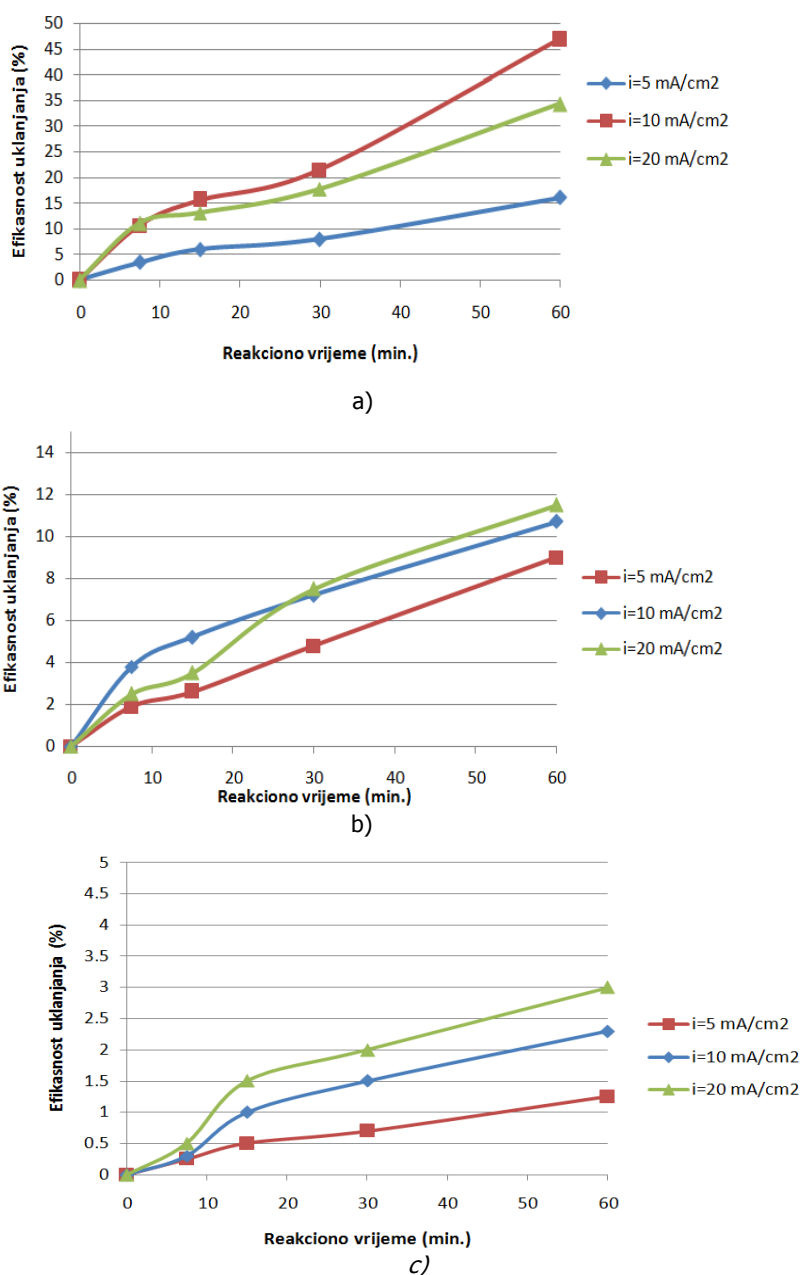
Za eksperimentalna istraživanja elektrohemijske degradacije cijanida korišćen je 0,01 M rastvor $NaOH$ sa sadržajem cijanida početne masene koncentracije $\rho_{CN^-}=200$ mg/L. Rezultati elektrohemijske degradacije izraženi su preko masene koncentracije (mg/L) i preko efikasnosti uklanjanja cijanida E_U izraženim u procentima i računatim prema sljedećoj formuli (1):

$$E_U = \frac{\rho_i - \rho_f}{\rho_i} \cdot 100 [\%] \quad 1.)$$

gdje su ρ_i i ρ_f početna i krajnja koncentracija cijanida izražena u mg/L.

Efikasnost uklanjanja cijanida (E_U) je istraživana u zavisnosti od elektrodnog materijala i gustine struje u funkciji vremena elektrolize (reakciono vrijeme), a da bi se odredili optimalni uslovi uklanjanja cijanida. Na slici 1 je prikazana efikasnost uklanjanja cijanida u zavisnosti od gustina struje i to pri 5, 10 i 20 mA/cm^2 za a) čelični elektrodni par, b) sa

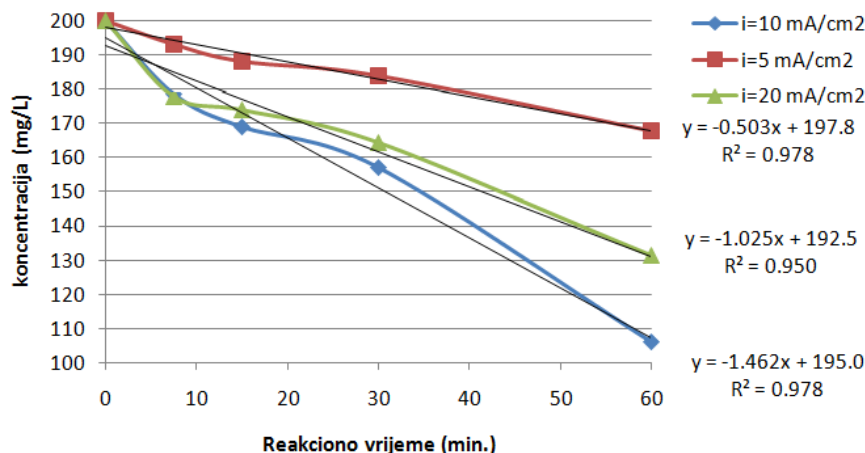
elektrodama od nerđajućeg čelika i c) sa elektrodama od platiniziranog titanijuma. Sa slike 1a) uočavamo da je najveća efikasnost od 46,9 % postignuta pri gustini struje od 10 mA/cm², a najmanja efikasnost od 16,1 % pri gustini struje od 5 mA/cm² za vrijeme reakcije od 60 minuta. Takođe, uočavamo da veće gustine struje (20 mA/cm²) za čelični elektrodni par ne utiče na povećanje efikasnosti jer je na toj gustini struje postignuta maksimalna efikasnost od 34,3 %. Na slici 1b) uočavamo da je najveća efikasnost od 11,5 % postignuta pri gustini struje od 20 mA/cm², a najmanja efikasnost od 9% pri gustini struje od 5 mA/cm² za vrijeme reakcije od 60 minuta. Primjetno je da veće gustine struje povećavaju efikasnost ali ne u očekivanoj razmjeri jer je maksimalna efikasnost pri 10 mA/cm² iznosila 10,7 %. Sa slike 1c) uočavamo da je efikasnost mala i da raste sa povećanjem gustine struje, tako je maksimalna efikasnost (3%) ostvarena pri gustini struje od 20 mA/cm². Ovi rezultati za platinizirani titanijum su i očekivani bez prisustva pomoćnog elektrolita imajući u vidu malu prenapetost izdvajanja kiseonika na Pt elektrodama.



Slika 1. Efikasnost uklanjanja CN⁻ u zavisnosti od gustine struje u elektrohemijском reaktoru a) sa čeličnim elektrodama b) reaktoru sa elektrodama od nerđajućeg čelika i c) sa elektrodama od platiniziranog titanijuma

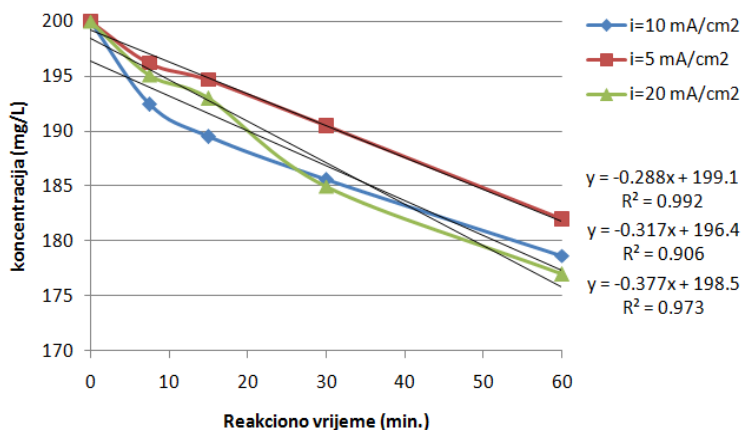
Figure 1. The removal efficiency of CN⁻ depending on the current density in the electrochemical reactor a) with steel electrodes b) reactor with stainless steel electrodes and c) with the electrodes of platinumised titanium

U radu je na osnovu promjene koncentracije u funkciji vremena prikazan trend rasta brzine reakcije za date elektrodne sisteme. Određena odstupanja se javljaju i to pri uočenoj promjeni temperature rastvora koji se javljaju toku elektrolize (šaržni rektor sa mješanjem) i to na većim gustinama struje zbog konverzije električne u toplotnu energiju ($\Delta t \approx 10^\circ\text{C}$). Za opis kinetike i izvođenje jednačine brzine reakcije za ove sisteme, kao pouzdanije, mogu se uzeti u razmatranje podaci pri najnižim gustinama struje (5 mA/cm^2) jer pri tim uslovima temperatura elektrolita je bila prilično postojana (maks. $\pm 2^\circ\text{C}$) za dato vrijeme. Na slici 2 za elektrohemijski reaktor sa čeličnim elektrodama uočava se da je porast linearnosti za manje gustine struje ($R^2=0,978$) u odnosu na gustinu struje od 20 mA/cm^2 ($R^2=0,95$), te da je najveća specifična brzina reakcije $k=-1,462 \text{ mgL}^{-1}\text{min}^{-1}$ za ovaj sistem pri $i=10 \text{ mA/cm}^2$ što potvrđuje i najveću efikasnost pri ovoj gustini struje.



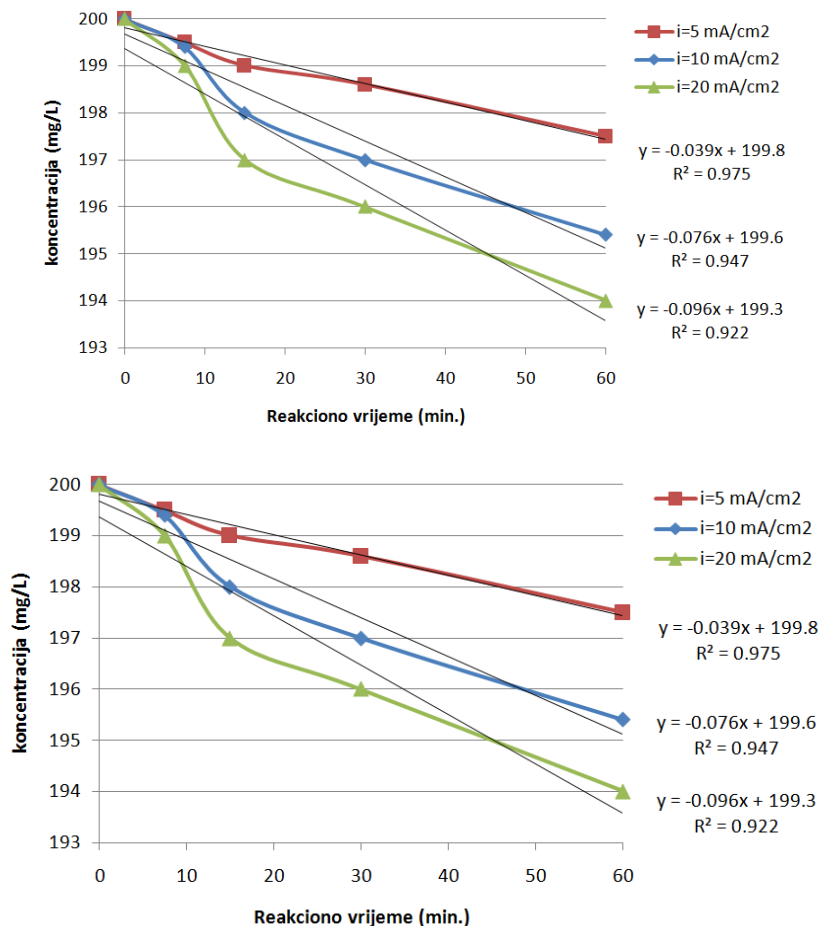
Slika 2. Trend rasta brzine reakcije u zavisnosti od gustine struje u elektrohemijskom reaktoru sa čeličnim elektrodama
Figure 2 The reaction rate depending on the current density in the electrochemical reactor with steel electrodes

Sa slike 3 za elektrohemijski reaktor sa elektrodama od nerđajućeg čelika uočava se da je porast brzine reakcije za gustinu struje od 5 mA/cm^2 skoro u potpunostilinearan ($R^2=0,992$) u odnosu na gustinu struje od 20 mA/cm^2 ($R^2=0,973$), a najveće odstupanje pokazuje pri 10 mA/cm^2 ($R^2=0,906$). Najveća specifična brzina reakcije $k=-0,377 \text{ mgL}^{-1}\text{min}^{-1}$ za ovaj sistem je pri $i=20 \text{ mA/cm}^2$ što potvrđuje i najveću efikasnost pri ovoj gustini struje za ovaj elektrodni par.



Slika 3. Trend rasta brzine reakcije u zavisnosti od gustine struje u elektrohemijskom reaktoru sa elektrodama od nerđajućeg čelika
Figure 3. The reaction rate depending on the current density in the electrochemical reactor with stainless steel electrodes

Slika 4 prikazuje trend rasta za elektrohemijski reaktor sa elektrodama od platiniziranog titanijuma gdje se vidi da porast brzine reakcije za gustinu struje od 5 mA/cm^2 pokazuje najveću linearnost sa izrazito visokim korelacionim koeficijentom ($R^2=0,975$) u odnosu na gustinu struje od 20 mA/cm^2 ($R^2=0,922$). Najveća specifična brzina reakcije je veoma mala i iznosi $k=-0,096 \text{ mgL}^{-1}\text{min}^{-1}$ pri $i=20 \text{ mA/cm}^2$ što potvrđuje i najveću efikasnost pri ovoj gustini struje za ovaj elektrodni par.



Slika 4. Trend rastabrinereakcije u zavisnosti od gustinestruje u elektrohemijskom reaktoru sa elektrodama od platiniziranog titanijuma

Figure 4. The reaction rate depending on the current density in the electrochemical reactor with the electrodes of platinised titanium

ZAKLJUČAK

Elektrolitički tretman definitivno predstavlja alternativu tradicionalnoj hemijskoj oksidaciji cijanidnih otpadnih voda. Prilog tome govori da proces zahtijeva jednostavnu opremu, a ujedno je veoma lako vođenje procesa. Ovaj proces izbjegava korištenje hemikalija, tako da nema problema sa neutralizacijom viška hemikalija. Jedan od nedostataka je da se "žrtvujuće elektrode" rastvaraju u otpadnoj vodi kao rezultat oksidacije i moraju se redovno mjenjati. Pored toga na katodi se može formirati nepropusan sloj oksida što bi dovelo do smanjenja efikasnosti postupka.

Izbor elektrodnog materijala ima velik uticaj na elektrolitičku degradaciju otpadnih voda i potrebno je za svaki polutant ili grupu polutanata prvo napraviti pravilan izbor elektrodnog materijala, a zatim vršiti ispitivanja na druge parametre. Od izbora elektrodnog materijala zavisi i po kojem mehanizmu, odnosno tehnici će se sprovesti degradacija polutanata. Izborom rastvornih elektroda kao što su čelik, nerđajući čelik, aluminijum i njegove legure dominira proces elektrokoagulacije. U ovom slučaju zbog visoke pH vrijednosti nisu se mogle primjeniti elektrode na bazi aluminijuma. Izborom nerastvornih elektroda kao što su titan, platinizirani titanijum dominira proces elektrooksidacije, odnosno direktne elektrooksidacije u odsustvu pomoćnih elektrolita. Zbog radnih uslova (visok napon) i visoke pH vrijednosti otpadne vode ($\text{pH}=12,25$) nisu se mogle primjeniti titanijumske elektrode zbog obrazovanja neprovodljivog titanijum dioksida na površini elektrode.

Gustina struje koja se primjenjuje tokom elektrokoagulacionog procesa direktno utiče na količinu jona $\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}^{3+}$ koja će se rastvoriti sa rastvornih elektroda (čelik i nerđajući čelik). Gustina struje direktno utiče i na veličinu uređaja za elektrolitički tretman. Primjena velikih gustina struje smanjuje dimenzije uređaja. Međutim velike gustine struje

povećavaju gubitke električne energije, jer se veći dio prevodi u toplotnu energiju, što za posljedicu ima zagrijavanje vode koja se prečišćava. Najveći nedostatak koji se javlja pri primjeni velikih gustina struje odnosi se na smanjenje efikasnosti postupka.

Za obrađene elektrolitičke sisteme najveću efikasnost su pokazale elektrode od čelika (Č .0147), tj. 46,9 % pri gustini struje od 10 mA/cm² za 60 minuta tretmana što ujedno predstavlja i najbolje rezultate za korištene uslove bez dodatka pomoćnih elektrolita. Zbog male prenapetosti izdvajanja kiseonika na Pt elektrodi nisu ostvareni dobri rezultati, ali to nam govori da se efektivna oksidacija polutanata na ovim anodama javlja pri manjim gustinama struje ili u prisustvu visokih koncentracija florida ili metalnih medijatora.

LITERATURA

1. S. Ebbs: Biological degradation of cyanide compounds. *Current opinion in Biotechnology*, **15**(2004) 1-6.
2. J. S. Avalos, M. G. Richmond, O. Nagappan, D. A. Kunz: Degradation of the Metal-Cyano Complex Tetracyanickelate (II) by Cyanide-Utilizing Bacterial Isolates. *Applied and Environmental Microbiology*, (1990) 3664-3670.
3. G. Chen: Electrochemical technologies in wastewater treatment. *Separation and Purification technology*, **38**(2004) 11-41.
4. R.R. Dash, C. Balomajumder, A. Kumar: An Overview of Removal Methods of Cyanide from Industrial Wastewater. 7th International Congress on Civil Engineering, (2005).
5. K. Saarela, T. Kuokkanen: Alternative disposal methods for wastewater containing cyanide: Analytical studies on new electrolysis technology developed for total treatment of waste water containing gold or silver cyanide. Waste Minimization and Resources Use Optimization Conference, Univerzitet Oulu, Finska, 10. jun 2004.
6. I.A. Ibrahim, A.A. Ismail, R.M. Mohamed: Degradation of free cyanide by photocatalytic oxidation. *European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection*, **3** (3)(2003) 281-290.
7. F. Nava, A. Uribe, R. Pérez: Use of ozone in the treatment of cyanide containing effluents. *European Journal of Mineral Processing and Environmental Protection*, **3** (3)(2003) 316-323.
8. G. Moussavi, F. Majidi, M. Farzadkia: Removal of Cyanide from Wastewater using the electrocoagulation Process. 12th International Conference on Environmental Science and Technology, Rodos, Grčka, 8-10. septembar 2011.
9. J.B. Mosher, L. Figueroa: Biological oxidation of cyanide: A viable treatment option for the minerals processing industry. *Mineral Engineering*, **9** (5) (1996) 573-581.
10. L. Szpyrkowicz, S.N. Kaul, E. Molga, M. DeFaveri: Comparison of the performance of a reactor equipped with a TiPt and SS anode for simultaneous cyanide removal and copper recovery. *Electrochimica Acta*, **46**, (2000) 381-387.
11. B. Malinović, J. Mandić, M. G. Pavlović, M. Tomić: Smanjenje HPK-vrijednosti otpadnih voda anodnom oksidacijom u industriji poludisperzija i disperzija. *Zaštita materijala*, **53** (1)(2013) 31-36.
12. B. Malinović, M. G. Pavlović, N. Gorgi: Uticaj gustine strujene elektrolitičke kudegradacije cijanidnih otpadnih voda. *Yucorr XV*, Tara, Srbija, 17-20.9.2013., str. 86-92.
13. B. Malinovic, M. G. Pavlovic, D. Bodroza, P. Sailovic, M. Jazic: Electrochemical degradation of Reactive Violet 5 dye in textile wastewater. *The Sustainability of Pharmaceutical, Medical and Ecological Education and Research - SPHAMEER - 2013*. Constanta, Romania, 20-23 June, 2013.
14. B. Malinović, M. G. Pavlović: Uticaj različitih anoda i njihove koncentracije elektrolitičke kudegradacije cijanidnih otpadnih voda. *Yucorr XV*, Tara, Srbija, 17-20.9.2013., str. 273-280.
15. F. Shen, P. Gao, X. Chen, G. Chen: Electrochemical removal of fluoride ions from industrial wastewater. *Chem. Eng. Sci.* (58) (2003) 987-993,.
16. L.A. Kulskii, P.P. Strokach, V.A. Slipchenko, E.I. Saigak: *Water Purification by Electrocoagulation*. Kiev, Budivelnik, 1978.
17. X. Chen, G. Chen, P.L. Yue: A novel electrode system for electro-flotation of wastewaters. *Environ. Sci. Technol.* **4** (36)(2002) 778-783.
18. S.E. Burns, S. Yiacoumi, C. Tsouris: Microbubble generation for environmental and industrial separations. *Sep. Purif. Technol.*, **11** (1997) 221-232.
19. C.C. Ho, C.Y. Chan: The application of lead dioxide-coated titanium anode in the electroflotation of palm oil mill effluent. *Water Res.*, **20**(1986) 1523-1527.
20. H.B. Beer: Electrode and coating therefor. US Patent 3,632, (1972) 498,.
21. X. Chen, G.H. Chen, P.L. Yue: Stable Ti/IrO_x-Sb₂O₅-SnO₂ anode for O₂ evolution with low Ir content. *J. Phys. Chem.*, (105) (2001) 4623-4628.
22. X. Chen, G. Chen, P.L. Yue: Anodic oxidation of dyes at novel Ti/B-diamond electrode. *Chem. Eng. Sci.*, (58)(2003) 995-1001.
23. Troster, L. Schafer, M. Fryda: Recent developments in production and application of DiaChem-electrodes for wastewater treatment. *New Diam. Front. C. Technol.* **2**(12)(2002) 89-97.
24. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. APHA, EPA. American public health association, New York, 1999.

IMPACT OF ELECTRODE MATERIAL ON THE ANODIC OXIDATION OF CYANIDE WASTEWATER

B. Malinović¹, M. G. Pavlović², J. Mandić¹

¹University of Banja Luka, Faculty of Technology, Banja Luka, RS, B&H

²University of Eastern Sarajevo, Faculty of Technology, Zvornik, RS, B&H

Anodic oxidation is an electrolytic electrode reaction. Electrolysis is an electrochemical process which unfolds in two parallel reactions, cathodic and anodic reaction. Oxidation reaction on the electrode is based on the direct electron consumption or on the indirect chemical oxygen formation. This procedure is used for successful oxidation of cyanide wastewaters. Anodic oxidation of cyanide solutions depends on the current density, solution composition, working temperature and other, and the most, on the electrode material. Cyanide compounds are very toxic and they form lethal cyanide gas (HCN) in humid and acidic conditions. Despite that, a large amounts of cyanide compounds are used in metal plating, electronic and mining industries. Since cyanide ions are very reactive, they readily bind the metal ions forming the complex compounds with variable stability and toxicity. Because of the potential toxic action to humans and living organisms in case if cyanide ions leak into the soil and groundwater, the wastes containing cyanide ions must be treated very carefully with adequate methods.

Key words: cyanide ions, wastewater, anodic oxidation, electrode material.

Rad primljen: 12. 09. 2013.

Rad prihvaćen: 05. 12. 2013.