

Primena elektrohemijskih metoda za prečišćavanje otpadnih voda. Deo I. elektrodepozicija i elektrokoagulacija

U radu je dat pregled primene elektrodepozicije i elektrokoagulacije u procesu prečišćavanja otpadnih voda. Takođe, razmatrana je i primena elektrohemijskih tehnologija u slučajevima zagađenja vode refraktorskim polutantima. Dat je i pregled elektroda koje se preporučuju u pojedinačnim slučajevima.

Ključne reči: otpadne vode, elektrodepozicija, elektrokoagulacija

1. UVOD

Povećanje kapaciteta proizvodnje u svim oblastima industrije kao i uvođenje novih proizvoda primenom najnovijih dovelo je do problema zagađenja životne sredine. Voda, vazduh i zemljište zagađuju se toksičnim i kancerogenim materijama, neorganskog i organskog porekla. Da ne bi došlo do sve veće akumulacije ovih komponenata neophodno je prečišćavanje već zagađenih resursa i sprečavanje novih zagađenja. Primenom savremenih tehnologija prečišćavanja moguće je problem zagađenja smanjiti. Veliki je broj istraživanja i tehnologija koje su našle praktičnu primenu u procesima prečišćavanja otpadnih voda i voda za piće. Primena električne struje u procesima prečišćavanja otpadnih voda i voda za piće je do skora bila skupa metoda koja se nije praktično primenjivala, ali je bila predmet velikog broja istraživanja. Elektrohemijske tehnologije prečišćavanja voda su sledeće:

- Elektrodepozicija
- Elektrokoagulacija
- Elektroflotacija
- Elektrohemijska oksidacija
- Elektrohemijska redukcija.

U poslednje dve decenije elektrohemijske tehnologije nalaze sve veću praktičnu primenu, naročito u slučajevima kada se radi o vodi zagađenoj refraktornim polutantima. Opravdana je primena i u slučajevima kada se iz vode elektrodepozicijom žele izdvojiti određeni metali koji dalje mogu biti reciklirani i ponovo primenljivani.

2. PREČIŠĆAVANJE VODE PRIMENOM ELEKTRODEPOZICIJE

Elektrohemijski mehanizam depozicije metala iz voda zagašenih određenim metalom je jednostavan i upravo se iz tih razloga dosta primenjivao u tehnologiji izvlačenja korisnih metala iz otpadnih voda koji se nakon toga recikliraju i imaju određenu namenu. Mehanizam elektrodepozicije može se predstaviti jednostavnom hemijskom jednačinom:



Jednačina (1) opisuje reakciju koja se odigrava na katodi i predstavlja redukciju jona metala do elementarnog stanja, tj. taloženje metala na odgovarajućoj katodi. Negativno naelektrisanje koje je neophodno za redukciju metala potiče iz spoljnog izvora. Masa dobijenog proizvoda (istaloženog metala) iz zapremine reaktora u jedinici vremena zavisi od gustine struje, prirode metala koji se taloži, iskorišćenja struje i može se predstaviti sledećom jednačinom:

$$m_M = \frac{iaM}{1000zF} \eta \quad (2)$$

gde je:

m_M -masa istaloženog metala iz zapremine reaktora u jedinici vremena

i -primenjena gustina struje (A/m²)

M -molska masa metala (g/mol)

a -specifična površina elektrode (m²/m³)

F -Faradejeva konstanta (C/mol)

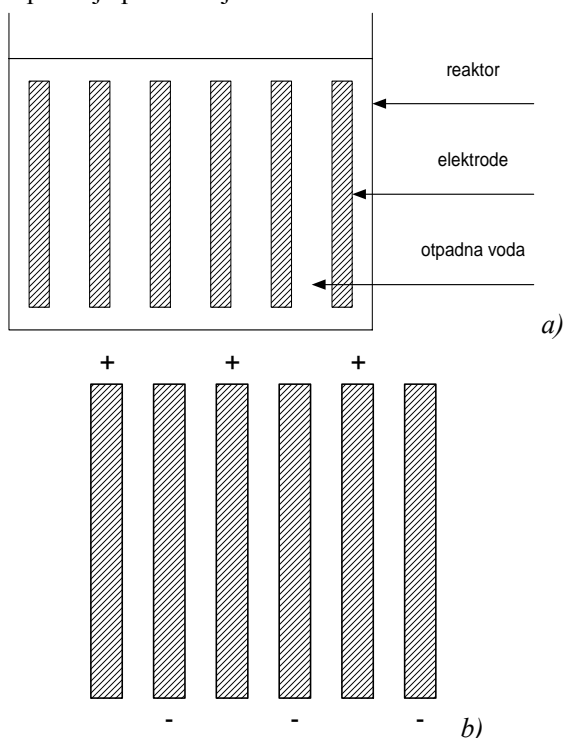
z -broj izmenjenih elektrona

η -iskorišćenje električne struje

Adresa autora: Institut za bakar, 19210 Bor

Istraživanja elektrohemijskih procesa prečišćavanja otpadnih voda idu u pravcu povećanja iskorišćenja električne struje i povećanja mase istaloženog metala iz zapremine reaktora po jedinici vremena.

Izgled ćelije u kojoj se odvija proces elektrodepozicije prikazan je na slici 1.



Slika 1 - Ćelija za prečišćavanje otpadnih voda primenom elektrodepozicije: a) izgled ćelije; b) raspored elektroda

2.1. Tipovi reaktora za prečišćavanje otpadnih voda elektrodepozicijom

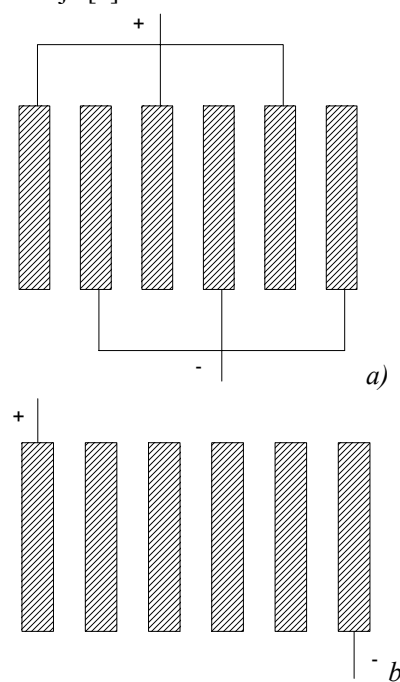
Postoje nekoliko tipova reaktora za prečišćavanje otpadnih voda elektrodepozicijom čija je primarna svrha izvlačenje metala koje je moguće daljom reciklažom ponovo primeniti. Osnovni tipovi reaktora su:

- Tank ćelije
- Ćelije sa pločama ili ramovima
- Rotacione ćelije
- U nešto složenije tipove reaktora, takozvane trodimenzionalne sisteme ubrajaju se:
 - Sistem na bazi fluidizovanog sloja
 - Sistem sa pakovanim slojem punjenja

Tank ćelije

Tank ćelije su najjednostavniji oblik uređaja za prečišćavanje voda elektrodepozicijom (slika 1.). Lako se mogu smanjiti ili povećati u zavisnosti od zagađenosti voda i zapreminskog protoka. Raspo-

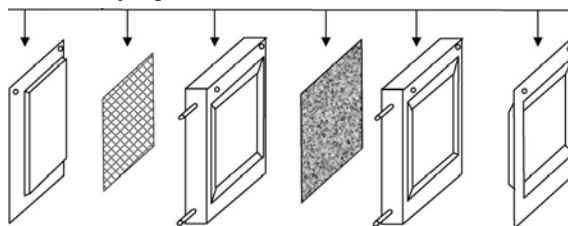
red elektroda može biti monopolaran (slika 2a) ili bipolaran (slika 2b.). Glavna primena ovog sistema je u izvlačenju metala iz visoko koncentrovanih procesnih voda kao što su otpadne vode iz galvan-skih kupatila ili otpadne vode nastale prilikom pranja jonoizmenjivačkih postrojenja. Broj elektroda u reaktoru varira i kreće se od 10 do 100. Voda se uvodi u reaktor i kreće kroz njega pod uticajem sile gravitacije [1].



Slika 2 - Raspored elektroda u tank ćeliji: a) monopolarni raspored; b) bi-polarni raspored

Filter prese

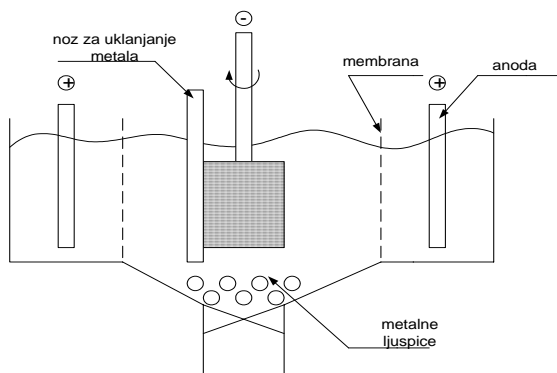
Uređaji sa pločama ili takozvane filter prese (slika 3) satavljene su od više jedinica. Jednu jedinicu čine anoda, katoda i membrana (ako je neophodna). Uređaji se svrstavaju u relativno jednostavne po konstrukciji i procesu rada.



Slika 3 - Sistem sa pločama (filter presa)

Rotirajuća katodna ćelija

Da bi došlo do povećanja masenog prenosa kao i uklanjanje deponovanog metalnog praha sa katode, dizajnirana je i ugrađena rotirajuća katodna ćelija (slika 4).

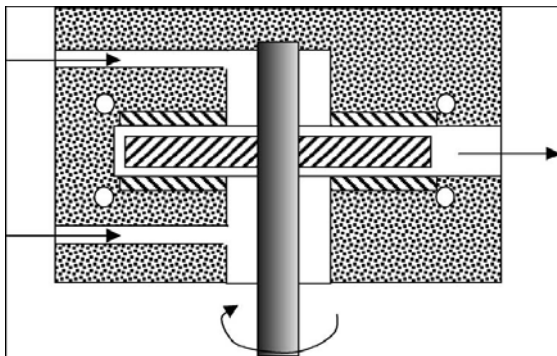


Slika 4 - Sistem sa rotacionom cilindričnim elektrodama

Pumpna ćelija

Varijacija rotirajuće ćelije je takozvana pumpna ćelija koja se sastoji od statične anode i rotirajuće katode u obliku diska. Mali prostor između elektroda određuje koliki će biti ulaz efluenta. Katoda može biti rotirajuća šipka koja može biti unutar, između ili oko anode [2].

Pumpna ćelija nalazi primenu pri razaranju cijanida (slika 5).

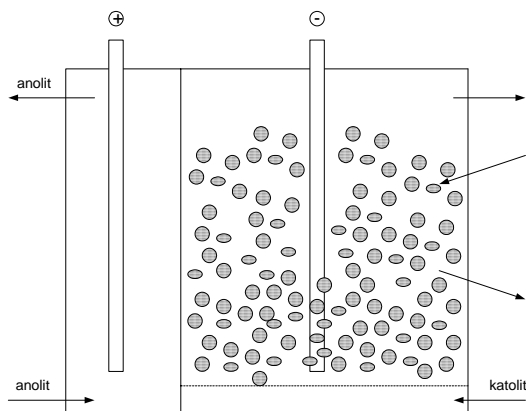


Slika 5 - Varijantni sistem rotirajuće elektrode (pumpna ćelija)

Trodimenzionalni sistemi sa fluidizovanim slojem punjenja

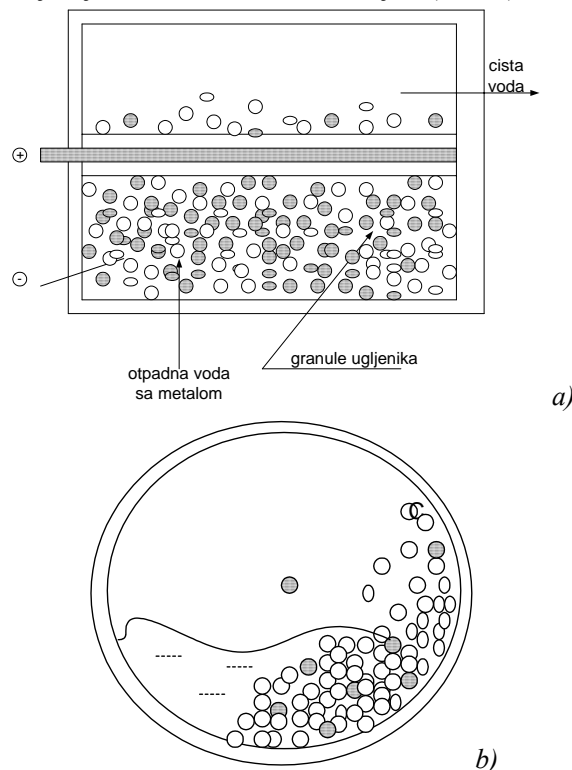
Depozicija metala na katodi zahteva veću specifičnu površinu katode, jer se na taj način povećava prinos mase metala po jedinici vremena u posmatranoj zapremini reaktora. Najveća specifična površina elektrode se postiže u slučaju primene trodimenzionalnih elektroda sa fluidizovanim slojem punjenja (slika 6).

Katodu predstavlja fluidizovani sloj metalnih provodnih čestica koja je preko porozne elektrode na dnu uređaja u kontaktu sa napajanjem. Ovako dizajnirana elektroda može da ima specifičnu površinu i do $200 \text{ m}^2/\text{m}^3$.



Slika 6 - Reaktor sa fluidizovanim slojem

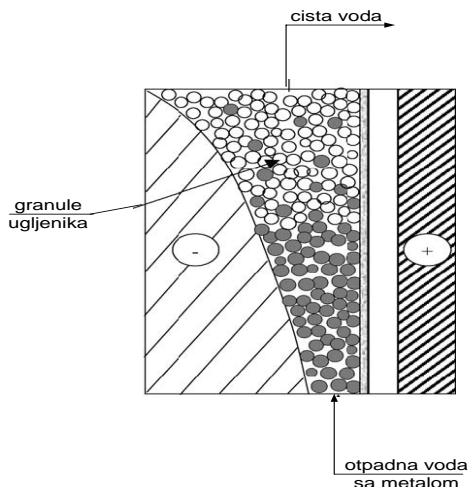
Problem kod trodimenzionalnih elektroda koje se nalaze u fluidizovanom stanju je neravnomerna raspodela struje kao i stanje kada provodne metalne čestice nisu u kontaktu sa poroznom fiksnom elektrodom na dnu sistema, pa u datom momentu nisu naelektrisane, što dovodi do smanjenja iskorišćenja struje i manjeg prinosa mase metala. Da bi se unapredio ovakav sistem moguće je u fluidizovani provodni sloj čestica ubaciti određenu količinu inertnih čestica koje imaju zadatak da povećaju brzinu prenosa mase [3]. Varijacija sistema sa fluidizovanim slojem je i sistem sa fontanskim slojem (slika 7).



Slika 7 - Sistem sa fontanskim slojem: a) pogled sa bočne strane; b) pogled sa zadnje strane

Sistemi sa pakovanim slojem

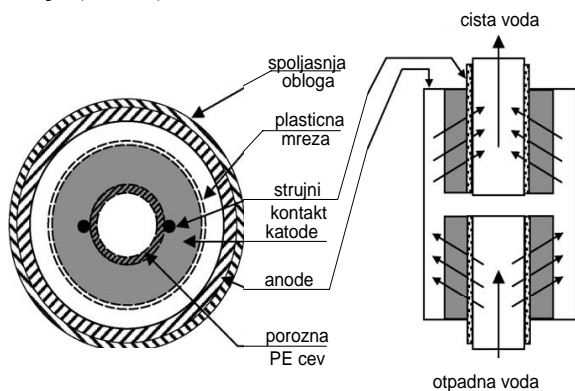
Sistem sa pakovanim slojem ima prednost u odnosu na sistem sa fluidizovanim slojem jer izostaje efekat gubljenja kontakta između čestica i fiksne elektrode koja obezbeđuje protok struje. Granule ugljenika čine pakovani sloj. Anodni prostor je odvojen od katodnog prostora dijafragmom (slika 8).



Slika 8 - Sistem sa pakovanim slojem

RenoCell ćelije

EA Technology i Renovare International su razvili takozvanu RenoCell na bazi trodimenzionalne porozne ugljenične katode, koja se pokazala 500 puta produktivnija od klasičnih dvodimenzionalnih ćelija (slika 9).



Slika 9 - Trodimenzionalna porozna ugljenična katoda (RenoCell)

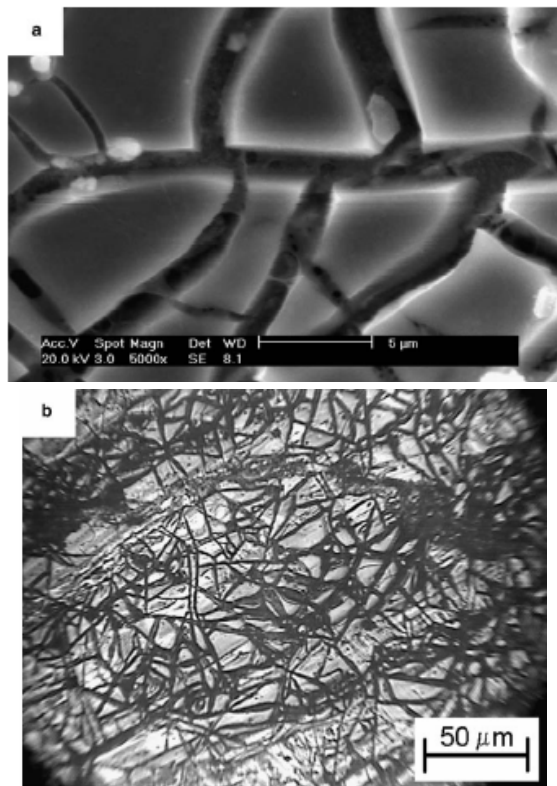
Otpadna voda prolazi kroz unutrašnju cev koja je porozna i kroz istu se distribuira u prostor između katode i anode. Anoda je od ugljeničnog filca. Gustina struje koja se primenjuje varira od 100-300 A/m². Protok otpadne vode je 20 dm³/min.

U slučaju veće alkalnosti ili kiselosti može se primeniti veća gustina struje od 300-800 A/m², a protok se može povećati do 30 dm³/min. RenoCell jedinice se mogu primeniti kao singl postrojenje, vezane u seriji ili paralelno, u zavisnosti od kvantiteta i kvaliteta vode koja se podvrgava prečišćavanju. Može se primeniti kada se radi o otpadnoj vodi sa sadržajem samo jednog metala, ali je isto efikasna i u slučajevima otpadnih voda sa sadržajem više metala.

2.1.1. Elektrode u ćelijama za prečišćavanje otpadne vode na bazi elektrodepozicije

Anode koje se primenjuju u postupku prečišćavanja vode od metalnih jona sa ciljem recikliranja metala primenom elektrodepozicije mogu biti izrađene od čelika ili u obliku dimenzionalno stabilisane anode (DSA elektrode).

Na slici 10. prikazana je površina DSA anoda koje se koriste u postupcima prečišćavanja otpadnih voda [4].



Slika 10 - Izgled površine elektroda DSA, a) MeV i metalografski snimak; b) izgled elektrode sastava Ti/Ru0.34Ti0.66O₂

U poslednje vreme se koriste anode čija je osnova titan koji je prevučen oksidom plemenitog metala. Činjenica je da se radi o skupim materijalima.

lima, pa se anode izrađuju u obliku tankih listova. Katoda može biti izrađena od metala koji je inače prisutan u otpadnoj vodi i koji se na ovaj način želi reciklirati ili od ugljeničnog vlakna. Statične katode koje omogućavaju kontakt mogu biti izrađene od čelika ili titana.

2.1.2. Oblasti primene elektrodepozicionih procesa

Elektrohemijski proces koji omogućava izvlačenje metalnog jona iz otpadnih voda primenjuje se u industriji završne obrade površine metala. Međutim iz tehničkih ili ekonomskih razloga nemoguće je proces primeniti na sve otpadne vode i sve komponente.

Elektrohemijski postupak sastoji se od dva koraka:

- Skupljanje i
- Odvajanje teških metala

Skupljanje metala izvodi se hemijskim ili elektrohemijskim metodama.

Metalni prah koji se formira na katodi se efikasno može otkloniti fizičkom separacijom. Dobijeni metal je visoke čistoće.

Druga primena elektrodepozicije je u industriji štampanih ploča. Za razblažene rastvore neophodno je jonoizmenjivačko postrojenje za njegovu koncentraciju. Ako se postigne visoka koncentracija metala u otpadnoj vodi nakon jonoizmenjivačkog postrojenja ili otpadna voda već ima tu karakteristiku, moguće je primeniti identičan postupak kao i u slučaju završne obrade površine metala.

Primena elektrodepozicije je opravdana i korisna u svim oblastima u kojima se u otpadnim vodama ili drugim vrstama voda, kao prisutni jon metala javljaju joni plemenitih metala (rudničke vode, otpadne vode nastale u galvanskim postrojenjima koja kao završnu obradu imaju prevlake plemenitih metala (zlatu, srebro, rodijum, platina i sl)).

3. PREČIŠĆAVANJE OTPADNE VODE PRIME-NOM PROCESA ELEKTROKOAGULACIJE

Proces elektrokoagulacije podrazumeva odvajanje čvrstih čestica od rastvora. Proces se odvija uz stvaranje koagulanata "in situ" elektrolitičkim rastvaranjem elektroda od aluminijuma ili gvožđa. Tokom procesa elektrokoagulacije na katodi dolazi do izdvajanja vodonika koji izlazi iz sistema i čestice koje sa koagulantima izdvaja na površinu vode zbog čega se proces često naziva i elektroflokulacijom. Elektrode mogu biti mono-polarne ili bipolarne. Materijal za elektrode su ploče od alumi-

nijuma, gvožđa ili otpadni materijal od ovih metala nastao nakon procesa glodanja ili slično, u pakovanoj formi.

Hemijska reakcija na anodi, tj. proces rastvaranja anoda prikazan je sledećim reakcijama u zavisnosti od pH vrednosti sredine:

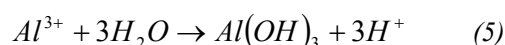
Za anodu od aluminijuma:



U alkalnoj sredini:



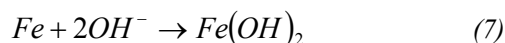
U kiseljoj sredini:



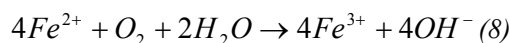
Za anodu od gvožđa:



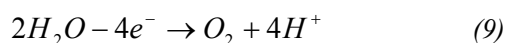
U alkalnoj sredini:



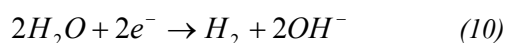
U kiseljoj sredini:



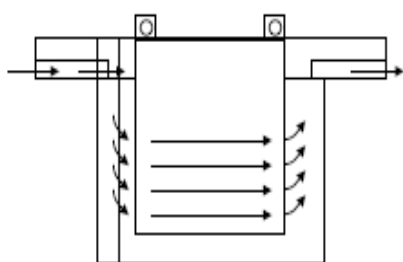
Takođe dolazi do oslobađanja kiseonika prema sledećoj reakciji.



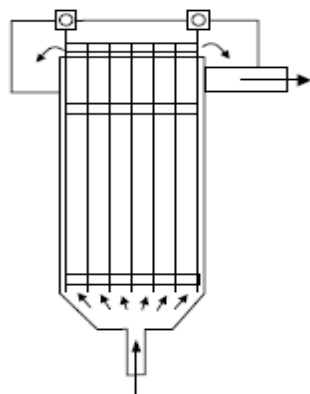
Reakcija na katodi odvija se prema sledećoj jednačini:



Nascentni Al^{3+} i Fe^{2+} joni veoma su efikasni koagulanti i flokulanti. Joni aluminijuma sa vodom stvaraju veliki broj jedinjenja mrežaste forme Al-O-Al-OH koji imaju sposobnost hemijske adsorpcije polutanata kao što je F^- ili slično. Aluminijum se obično koristi pri tretmanu pijaćih voda, a gvožđe pri tretmanu otpadnih voda. Prednost elektrokoagulacije je visoka parcijalna efikasnost uklanjanja, celokupni tretman je veoma lak, relativno mali troškovi i mogućnost potpune automatizacije. Na slici 11 prikazan je uređaj za elektrokoagulaciju [5].



a)



b)

Slika 11 - Izgled uređaja za elektrokoagulaciju: a) uređaj sa horizontalnim tokom; b) uređaj sa vertikalnim tokom

3.1. Faktori koji utiču na efikasnost elektrokoagulacije

Gustina struje

Gustina struje koja se primenjuje tokom procesa elektrokoagulacije direktno utiče na količinu jona Al^{3+} ili Fe^{2+} koja će se rastvoriti sa odgovarajućih elektroda. Ekvivalentna masa koja će se izdvojiti po Ah za aluminijum iznosi 335,6 mg, a za gvožđe 1041 mg. Gustina struje direktno utiče i na veličinu uređaja za elektrokoagulaciju.

Primena velikih gustina struje smanjuje dimenzije uređaja za elektrokoagulaciju. Međutim velike gustine struje povećavaju gubitke električne energije, jer se veći deo prevodi u toplotnu energiju, što za posledicu ima zagrevanje vode koja se prečišćava. Efekat zagrevanja je takođe nepoželjan. Ali najveći nedostatak koji se javlja pri primeni velikih gustina struje odnosi se na smanjenje efikasnosti postupka. Za elektrokoagulacione sisteme preporučuju se gustina struje od 20-25 A/m². Rad sa ovim gustinama struje omogućava duži period rada bez dužih prekida, osim ako nije predviđeno periodično čišćenje elektroda. Na izbor gustine struje utiču i operativni parametri kao što su pH vrednost, temperatura i brzina strujanja vode kroz uređaj.

Optimizacijom svih parametara i usklađenost gustine struje sa uslovima pod kojim se odvija proces prečišćavanja vode omogućava visoko iskorišćenje struje. Iskorišćenje struje pri primeni Al elektrode je od 120-140 %, a pri primeni Fe elektrode je oko 100 %. Procenat prelazi 100 % za Al elektrode iz razloga pojave piting korozije kao efekta koji se javlja u prisustvu Cl⁻ jona. Iskorišćenje struje zavisi od gustine struje i vrste anjona prisutnih u vodi koja se prečišćava. Takođe je primetno povećanje iskorišćenja čak i do 160 % pri primeni Fe elektrode ako se tokom procesa elektrokoagulacije primenjuje i ultrazvuk.

Kvalitet vode koja se dobija nakon prečišćavanja elektrokoagulacijom zavisi od količine proizvedenih jona (mg) ili količine naelektrisanja, proizvoda jačine struje i vremena (Ah). U Tabeli 1 prikazane su vrednosti za aluminijum (mg) koje se preporučuju u zavisnosti od prisutnih polutanata određene koncentracije u otpadnoj vodi. Operativna gustina struje ili količina naelektrisanja određuju se eksperimentalnim putem, ako nema dostupnih podataka.

Tabela 1 - Zahtevane količine aluminijuma i energije za otklanjanje polutanata iz vode

Polutant	Jedinica kvantiteta	Prethodno prečišćavanje		Prečišćavanje	
		Al ³⁺ (mg)	E (Wh/m ³)	Al ³⁺ (mg)	E (Wh/m ³)
Zamućenje	1 mg	0,04-0,06	5-10	0,15-0,2	20-40
Boja	1 jedinica	0,04-0,1	10-40	0,1-0,2	40-80
Silikati	1 mg/SiO ₂	0,2-0,3	20-60	1-2	100-200
Gvožđe	1 mg Fe	0,3-0,4	30-80	1-1,5	100-200
Kiseonik	1 mg O ₂	0,5-1	40-200	2-5	80-800
Alge	1000	0,006-0,025	5-10	0,02-0,03	10-20
Bakterije	1000	0,01-0,04	5-20	0,15-0,2	40-80

Prisutnost natrijum-hlorida

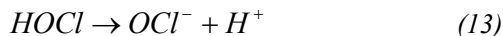
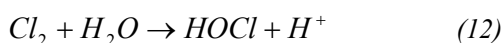
Natrijum-hlorid se obično dodaje kada se želi povećati provodljivost rastvora, u ovom slučaju vode ili otpadne vode. Osim što dovodi do povećanja provodljivosti, natrijum-hlorid smanjuje i štetan efekat nekih od anjona koji mogu biti prisutni u vodi, kao što su sulfati i bikarbonati. Prisustvo karbonata, bikarbonata ili sulfata u vodi mogu dovesti do taloženja Ca^{2+} ili Mg^{2+} jona u formi izolacionog filma na površini anode i do pasivizacije elektroda. Izolacioni sloj dovodi do naglog povećanja napona između elektroda i naglog smanjenja iskorišćenja struje. Iz tih razloga se preporučuje dodavanje natrijum-hlorida u količini do 20 % Cl^- da bi se osigurao normalan rad pri prečišćavanju vode elektrokoagulacijom. Natrijum-hlorid dovodi do smanjenja potrošnje energije jer povećava provodljivost.

Uticao pH vrednosti

Efekat pH vrednosti vode ili otpadne vode na elektrokoagulaciju odražava se preko uticaja na iskorišćenje struje kao i na rastvorljivost metalnih hidroksida. Kada se posmatra sistem za elektrokoagulaciju sa elektrodama od aluminijuma, iskorišćenje struje je veliko i u kiseloj i u baznoj sredini. U neutralnoj sredini učinak tretmana zavisi od prirode polutanata. Najbolje otklanjanje polutanata iz voda upravo se odvija na pH vrednostima oko 7. Na ovim pH vrednostima utrošak energije je veći zbog varijacije u provodljivosti. Kada je provodljivost velika, pH vrednost nema značajnog uticaja.

Nakon bilo kog tretmana prečišćavanja otpadne vode, pH vrednost prečišćene vode treba da se poveća u slučaju kiselih efluenata ili smanji u slučaju baznih efluenata pre ispuštanja u predviđeni recipient. Prednost elektrokoagulacije je što ne zahteva ovu dodatnu operaciju pošto se proces vodi na neutralnoj pH vrednosti.

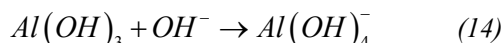
Povećanje pH vrednosti u kiselim sredinama vezano je za oslobađanje vodonika katodnom redukcijom. Osim oslobađanja vodonika, formiranje $\text{Al}(\text{OH})_3$ u blizini anode oslobađa H^+ jone koji vodi smanjenju pH vrednosti. Takođe dolazi do reakcije izdvajanja kiseonika koja takođe dovodi do smanjenja pH vrednosti. U prisustvu Cl^- jona dolazi do sledećih reakcija:



Povećanje pH vrednosti zbog izdvajanja vodonika je više ili manje kompenzovano oslobađanjem H^+ jona prema reakciji (13).

Uzrok povećanja pH vrednosti u kiselim efluentima je posledica taloženja drugih anjona sa Al^{3+} jonom kao i zbog formiranja $\text{Al}(\text{OH})_3$ u blizini anode.

Smanjenje pH vrednosti u alkalnim efluentima rezultat je formiranja hidroksida katjona koji će se taložiti i formiranje $\text{Al}(\text{OH})_4^-$ prema jednačini:



Efikasno utklanjanje polutanata je najbolje na pH vrednostima blizu neutralne i pri upotrebi aluminijumske elektrode.

Uticao temperature

Uticao temperature na elektrokoagulaciju nije mnogo istraživan. Istraživanja ruskih naučnika su pokazala da povećanje temperature do 60°C ima uticaj na povećanje iskorišćenja struje. Daljim povećanjem temperature dolazi do smanjenja iskorišćenja struje i ne preporučuje se. Povećanje iskorišćenja struje posledica je povećane aktivnosti destrukcije filma aluminijum-oksida na površini elektrode. Sa daljim povećanjem temperature dolazi do formiranja velikih pora $\text{Al}(\text{OH})_3$ gela koji je kompaktni film flokula i više liči na depozit na površini elektrode. Slično iskorišćenju struje i potrošnja energije je najmanja na vrednostima temperature oko 35°C , kada se tretiraju vode koje su kontaminirane uljima. Objašnjava se činjenicom da je potrošnja struje suprotno proporcionalna temperaturi i provodljivosti otpadne vode. Visoka temperatura daje veću provodljivost, a samim tim i manju potrošnju energije.

Vrste elektroda

Elektrode su obično napravljene od aluminijuma ili gvožđa u obliku ploča ili pakovanog otpadnog materijala istih elemenata. Kada se za elektrodu koristi otpadni materijal koji se stavlja na nosač elektroda mora se voditi računa da ne dođe do taloženja mulja između komada koji čine elektrodu. Takođe je neophodno ispiranje elektroda bilo da su ploče ili od otpadnog materijala. Pošto je definisana neophodna količina metalnih jona koja se zahteva 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. Aluminijumove ploče nalaze primenu i u tretiranju otpadnih voda, same ili u kombinaciji sa elektrodama od gvožđa iz razloga što je efikasnost jona Al^{3+} kao koagulantna velika. Kada je u vodi prisutna značajna količina jona kalcijuma ili magnezijuma, kao materijal za katode preporučuje se nerđajući čelik.

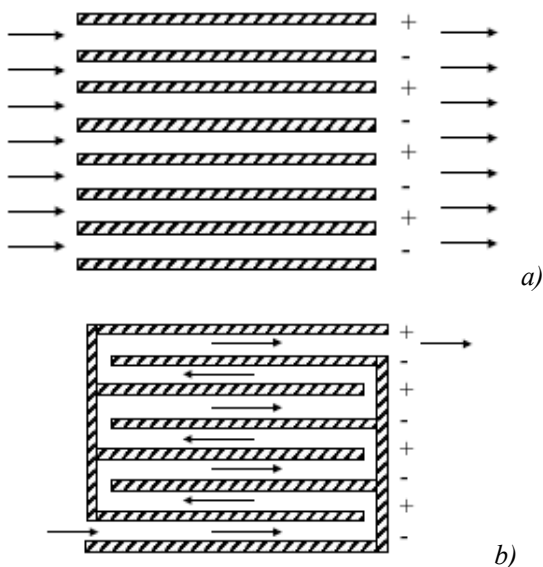
3.2. Uređaji za elektrokoagulaciju

U zavisnosti od položaja elektroda, koagulacione ćelije se dele na:

- Horizontalne i
- Vertikalne

Na slici 11 prikazane su obe varijante uređaja za elektrokoagulaciju.

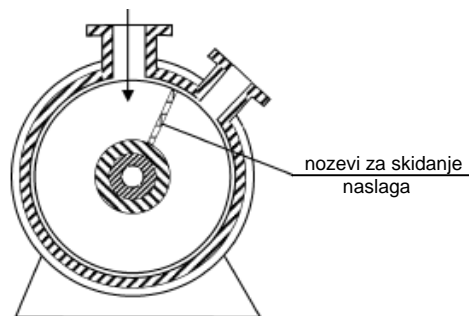
Da bi sistem elektrokoagulacije ostao jednostavan, elektrode u obliku ploča se obično povezuju u bi-polarni model. Tok vode između ploča elektrode može biti višekanalni ili jednokanalni kao što je prikazano na slici 12. Višekanalni tok je jednostavniji u raspodeli toka ali je brzina toka u svakom od kanala mala. Kada dođe do pasiviziranja elektroda kod višekanalnih sistem raspodele toka fluida ne može da se minimizira, upravo se zato preporučuje upotreba jednog toka.



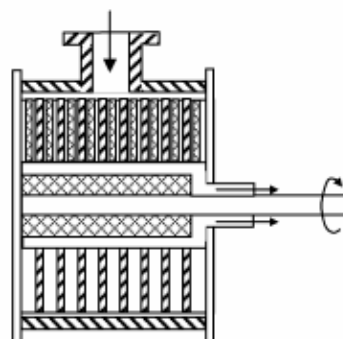
Slika 12 - Tok vode kroz uređaj za elektrokoagulaciju: a) višekanalni tok; b) jednokanalni

Za prečišćavanje pijaće vode mogu se koristiti uređaji cilindričnog oblika sa cilindričnim elektrodama. Jedan takav uređaj prikazan je na slici 13. Efikasan je i u odvajanju suspendovanih soli iz vode. Da ne bi dolazilo do začepljenja usled taloženja

suspendovanih čestica ugrađene su i lopatice koje omogućavaju grebanje naslaga sa zida uređaja, a ujedno se obezbeđuje neometani rad elektrokoagulatora.



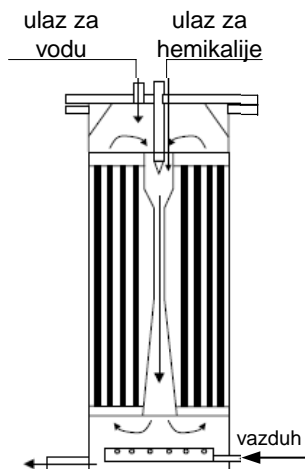
a)



b)

Slika 13 - Izgled elektrokoagulatora sa cilindričnim elektrodama: a) pogled sa zadnje strane; b) pogled sa bočne strane

Alternativna cilindričnim elektrokoagulatorima su elektrokoagulatori sa venturijem u centru cilindra kroz koji protiče voda sa koagulantima, a koji obezbeđuje dobro mešanje.



Slika 14 - Cilindrični elektrokoagulatori sa venturijem i elektrodama u obliku šipki

Elektrokoagulator može biti sa kontinualnim ili šaržnim režimom rada, sa istom efikasnošću. Elek-

trokoagulacija je praćena procesom otklanjanja taloga. To je proces sedimentacije ili flotacije. Izgled opreme za elektrokoagulaciju prikazan je na slici 15 [6, 7].



Slika 15 - Povel elektrokoagulaciona ćelija za prečišćavanje otpadnih i pijaćih voda

3.3. Oblasti primene elektrokoagulacije

Elektrokoagulacija je efikasna u otklanjanju suspendovanih soli, ulja ili masti iz voda. Primenuje se u prečišćavanju voda za piće u manjim ili gradovima srednje veličine, morske vode, tople vode za industrijske potrebe gde velika postrojenja za tretman voda nisu ekonomična. Efikasna metoda za otklanjanje mutnoće i boje vode, gvožđa, sili-

kata, prečišćavanju emulzija voda-ulje, glinene suspenzije, vode sa nitritima. Pogodna metoda za otklanjanje ili destrukciju algi i mikroorganizama iz vode za piće. Takođe se koristi i u tretmanu otpadnih voda iz tekstilne i naftne industrije.

Demonstracija efikasnosti elektrokoagulacije može se videti na slikama 16. i 17 [8,9].



a)



b)

Slika 16 - Elektrokoagulacija u procesu : a) uklanjanja teških metala (hroma); b) uklanjanja masti i ulja



a)

b)

c)

Slika 17 - Vizuelni prikaz efikasnosti elektrokoagulacije; a) otpadne vode pre elektrokoagulacije; b) nakon elektrokoagulacije; c) nakon elektrokoagulacije i filtriranja

ZAKLJUČAK

Opisani elektroprocesi sa primenom u tretmanima otpadnih voda pokazali su veliku efikasnost uklanjanja toksičnih i kancerogenih komponenta iz vode.

Različiti karakter otpadnih voda zahteva različiti izbor procesa koji će se primeniti da bi krajnji rezultat bila prečišćena voda koja zadovoljava propisane standarde.

U slučajevima da je otpadna voda zagađena teškim metalima može se primeniti proces elektrokoagulacije, a da bi se povećala efikasnost prečišćavanja moguća je kombinacija elektrokoagulacije sa drugim procesima prečišćavanja.

Ako su metali prisutni u vodi plemeniti ili se mogu nakon izvlačenja iz otpadnih voda ponovo koristiti preporučuje se primena elektrodepozicije kao tretmana prečišćavanja.

Iz navedenih razloga neophodno je odrediti karakter vode, karakteristike zagađivača pa tek nakon toga pristupiti izboru procesa koji bi opravdao svoju primenu.

LITERATURA

- [1] X. Zhenga, N.W. Johnson, J.-P. Franzidis, , Minerals Engineering Volume 19, Issue 11 , August 2006, Pages 1191-1203
- [2] F. B. Thomas, P. A. Ramachandran and M. P. Duduković, R. E. W. Jansson, Chemical Engineering Science, Volume 43, Issue 8 , 1988, Pages 2013-2018
- [3] Mohammad F. Kabira, Elena Vaismanb, Cooper H. Langfordb and Apostolos Kantzasa, , Chemical Engineering Journal, Volume 118, Issue 3 , 15 May 2006, Pages 207-212
- [4] M. R. G. Santos, M. O. F. Goulart, J. Tonholo, C. L. P. Zanta, Chemosphere 64 (2006) 393–399
- [5] G. Chen, Separation and Purification Technology 38 (2004) 11–41
- [6] www.epa.gov
- [7] www.parsenviro.com/electro
- [8] www.powellwater.com
- [9] B. K. Korbahti, A. Tanyolac, Water Research 37 (2003) 1505–1514

ABSTRACT

APPLICATIONS OF ELECTROCHEMICAL TECHNOLOGIES IN WASTEWATER TREATMENT. Part I. ELECTRODEPOSITION AND ELECTROCOAGULATION

In the paper, the applications of electrodeposition and electrocoagulation in wastewater treatment are presented. The electrochemical technologies for purification of water polluted by refractory materials are described, too. Although its given arrangement of the electrodes in specific cases.

Key words: waste water, electrodeposition, electrocoagulation