

**UNIVERZITET U BANJALUCI  
OJ-TEHNOLOŠKI FAKULTET  
BANJALUKA  
NASTAVNO-NAUČNOM VIJEĆU**

**Predmet: Izvještaj o ocjeni podobnosti teme i kandidata mr Borislava Malinovića za izradu doktorske teze**

Odlukom Nastavno-naučnog vijeća Tehnološkog fakulteta Univerziteta u Banjaluci br.0/02-856/11 od 13.06.2011. godine imenovani smo u Komisiju za ocjenu podobnosti teme i kandidata mr Borislava Malinovića za izradu doktorske teze pod nazivom "**Primjena anodne oksidacije pri prečišćavanju otpadnih voda i recikliranja rastvora u galvanotehnici**".

Komisija u sastavu:

1. **dr Miomir Pavlović, redovni profesor**, uža naučna oblast Elektrohemijsko inženjerstvo, Tehnološki fakultet Zvornik, Univerzitet u Istočnom Sarajevu;
2. **dr Nedeljko Čegar, redovni profesor**, uža naučna oblast Fizička hemija, Tehnološki fakultet Banja Luka, Univerzitet u Banjoj Luci;
3. **dr Jovo Mandić, redovni profesor**, uža naučna oblast Elektrohemijsko inženjerstvo, Tehnološki fakultet Banja Luka, Univerzitet u Banjoj Luci;

# 1. BIOGRAFSKI PODACI, NAUČNA I STRUČNA DJELATNOST KANDIDATA

## *Osnovni biografski podaci*

Ime, srednje ime i prezime:	Borislav (Nedeljko) Malinović
Datum i mjesto rođenja:	05.03.1977. god., Bugojno, BiH
Ustanove u kojima je bio zaposlen:	UNIS Institut za ekologiju, zaštitu na radu i zaštitu od požara, I. Sarajevo, PJ Banja Luka (1.7. - 10.10.2006. god.) Univerzitet u Banjoj Luci - Tehnološki fakultet, Banja Luka (1.4.2007. - )
Zvanja/ radna mjesta:	tehnolog - pripravnik, stručni saradnik u nastavi viši asistent
Naučna/umjetnička oblast:	Tehničke nauke/Hemijsko inženjerstvo
Strani jezici:	Engleski jezik

## *Biografija, diplome i zvanja*

### Osnovne studije:

Naziv institucije:	Tehnološki fakultet, Univerzitet u Banjoj Luci
Mjesto i godina završetka:	Banja Luka, 2005. god.
Naziv diplomskog rada:	„Izvedba i način rada protočnog postrojenja za dezotrovanje i neutralizaciono taloženje galvanskih otpadnih voda“
Prosjeck ocjena:	8,2

Postdiplomske studije:

Naziv institucije:	Tehnološki fakultet, Univerzitet u Banjoj Luci
Mjesto i godina završetka:	Banja Luka, 2010. god.
Naziv magistarskog rada:	"Izbor i dimenzionisanje optimalnog postupka dobijanja biodizela u industrijskim razmjerama"
Prosjek ocjena:	10

***Originalni naučni radovi u časopisu nacionalnog značaja***

1. N. Damjanović, J. Mandić, M. Maksimović, T. Botić, B. Malinović, „*Uticaj parametara na iskorištenje bazno katalizovane reakcije transesterifikacije*“, Glasnik hem. tehn. i ekologa RS, BiH, 1(2009)63-69.,

***Radovi saopšteni na naučnim skupovima međunarodnog značaja:***

1. S. Bunić, V. Đukić, B. Malinović, S. Rističević, B. Ušćumlić, R. Zrilić, J. Mandić, M. Todić, M. Maksimović, "*Dvostrano plakiranje čelika sa nerđajućim čelikom te obrada istog valjanjem*", "VIII YUCOR", Tara, Srbija, (2006)349-355.,
2. S. Bunić, J. Mandić, B. Malinović, Đ. Davidović, R. Zrilić, M. Todić, "*Analiza spoja eksplozijom plakiranog aluminijuma sa čelikom*", "Metalni i nemetalni anorganski materijali", Zenica, BiH, 27-28.04.2006. godine.,
3. M. Maksimović, J. Mandić, B. Malinović, S. Papuga, "*Upotreba inhibitora u rastvorima za nagrivanje metala na bazi kiselina*", Glasnik hemičara i tehnologa Republike Srpske, BiH, 46(2007)105-110.,
4. J. Mandić, M. Maksimović, S. Bunić, B. Malinović, „*Uticaj graditelja kompleksa u galvanskim otpadnim vodama na njihovu obradu (dio I)*“, „X YUCORR“, Tara, Srbija, (2008)106-113.,
5. M. Maksimović, J. Mandić, S. Bunić, B. Malinović, "*Termička obrada mulja iz galvanskih otpadnih voda i njegova upotreba kao sekundarne sirovine*", "Ekologija, zdravlja, rad, sport", Banja Luka (2009) 747-756.,

6. N. Damjanović, J. Todorović, J. Mandić, B. Malinović, „*Biogoriva*“, Zaštita i zdravlje na radu i zaštita životne sredine, Banja Luka, (2009)747-756.,
7. B. Malinović, J. Mandić, S. Bunić, N. Damjanović, „*Laboratorijsko istraživanje procesa dobijanja biodizel goriva iz rafinisanog palminog i otpadnog palminog ulja*“, "Inženjerstvo, materijali i menadžment u procesnoj industriji", Jahorina, BiH, 14-16.10.2009. godine.,
8. B. Malinović, J. Mandić, M. Maksimović, S. Bunić, N. Damjanović, "*Procesna simulacija i analiza profitabilnosti postrojenja za proizvodnju biodizela*", "Savremeni materijali 2010", Banja Luka, BiH, 2-3.06.2010. godine.,
9. B. Malinović, J. Mandić, M. Sorak, P. Dakić, „*Uticaj graditelja kompleksa u galvanskim otpadnim vodama na njihovu obradu (dio II)*“, „XII YUCORR“, Tara, Srbija (2010).,
10. M. Nožinić, V. Trkulja, H. Bijelić, V. Bojić, Š. Suljkanović, A. Duvnjak, B. Malinović, M. Berić, "*Pokazatelji kvaliteta BL-sorti soje*", 51. Savjetovanje "Proizvodnja i prerada uljarica", Herceg Novi, 27.06.- 03.07.2010. godine.
11. B. Malinović, J. Mandić, S. Bunić, „*Hemijsko taloženje kalaja na aluminijumu i njegovim legurama*“, „XIII YUCORR“, Tara, Srbija (2011)314-319.,

***Radovi saopšteni na naučnim skupovima nacionalnog značaja:***

1. B. Malinović, J. Mandić, „*Izrada pilot postrojenja za proizvodnju biodizel goriva i ispitivanje uticaja parametara na iskorištenje reakcije transesterifikacije*“, "Tehnološke inovacije – generator privrednog razvoja", Banja Luka, BiH, 12-13.11.2008. godine.,

***Obrazovna djelatnost kandidata***

1. Obrazovna djelatnost:

01.04.2007 - 01.07.2009. Univerzitet u Banjoj Luci, Tehnološki fakultet, Ugovor o radu na neodređeno vrijeme na poslovima stručnog saradnika.

01.07.2009 - 01.04.2011. Univerzitet u Banjoj Luci, OJ Tehnološki fakultet, Ugovor o radu na neodređeno vrijeme na poslovima stručnog saradnika u nastavi.

01.04.2011 - - - . Univerzitet u Banjoj Luci, OJ Tehnološki fakultet, Ugovor o radu na radno mjesto saradnika u zvanju višeg asistenta.

### ***Univerzitetski udžbenik koji se koristi u zemlji***

1. J. Mandić, B. Malinović; *Polimerni materijali -svojstva-upotreba-identifikacija*, Univerzitet u Banjoj Luci, OJ Tehnološki fakultet, 2010. god.
2. M. Tomić, M. Pavlović, J. Mandić, B. Malinović; *Zbirka zadataka iz elektrohemijskog inženjerstva*, Univerzitet u Istočnom Sarajevu, OJ Tehnološki fakultet Zvornik, 2010. god.

### ***Učešće u naučno-istraživačkim projektima***

1. "Istraživanje procesa dobijanja biodizel goriva u laboratorijskim razmjerama, kao osnova za izradu tehnološkog projekta" Tehnološki fakultet, Banja Luka, 2007-2008. god.
2. „Nastavak istraživanja procesa dobijanja biodizel goriva na postojećem pilot postrojenju iz istrošenog i sirovog ulja“, Tehnološki fakultet, Banja Luka, 2008-2009. god.
3. "Razvoj i konstrukcija rotaciono-lamelnog reaktora u procesu proizvodnje biodizela", Tehnološki fakultet, Banja Luka, 2008-2009. god.
4. "Selektivna galvanizacija", Tehnološki fakultet, Banja Luka, 2009-2010. god.
5. "Hemijsko i elektrohemijsko izdvajanje teških metala iz elektrolita i otpadnih voda koji sadrže kompleksante", Tehnološki fakultet, Banja Luka, 2010-2011. god.

### ***Stručna djelatnost kandidata***

Stručni radovi u časopisu nacionalnog značaja:

1. N. Damjanović, M. Ristić, R. Đudić, B. Malinović, *"Istraživanje laboratorijskog procesa proizvodnje biodizela"*, Technologica Acta, 2(2010)15-26.

Izvedbeni tehnološki projekti:

1. Pogon za proizvodnju praškastih proizvoda, d.o.o. "Kendy trade" Banja Luka, 2007. god.
2. Pogon za proizvodnju kafe, d.o.o. "Kofikom produkt", Glavičice, Bijeljina, 2007. god.
3. Pogon površinske zaštite metala, d.o.o. "Vigmelt", Krupa na Vrbasu, Banja Luka, 2007. god.
4. Pogon površinske zaštite metala i pogon otpadnih voda, SZR "Sjaj", Banja Luka, 2008. god.

## 2. ZNAČAJ I NAUČNI DOPRINOS ISTRAŽIVANJA

### 2.1. Značaj istraživanja

Eliminacija metala postupkom taloženja iz galvanskih otpadnih voda, otežana je ukoliko su metalni joni povezani u kompleksno jedinjenje, te se tada njihove uobičajene osobine gube, djelimično ili potpuno. Kompleksno vezani metalni joni više ne pokazuju karakteristične reakcije za njihovo izdvajanje iz otpadnih voda i tada se trebaju koristiti drugi postupci nego što je uobičajeno neutralizaciono taloženje.

Svi do danas poznati postupci za obradu otpadnih voda koje sadrže graditelje kompleksa imaju nedostatak da pri eliminaciji metala, jedna količina graditelja kompleksa ostane netaknuta. Oni mogu metale iz teško rastvorljivih jedinjenja ponovo da remobiliziraju. EDTA i NTA npr., omogućavaju da se bakar hidroksid, koji stoji samo nekoliko dana, ponovo rastvori u stehiometrijskoj količini.

Graditelji kompleksa mogu biti eliminisani jedino postupcima oksidacije. Neki od postupaka su već dovoljno istraženi (hemijska oksidacija), dok anodna oksidacija još uvijek nije dovoljno ispitana i zato nije našla primjenu u praksi.

Pošto se dosadašnja saznanja o taloženju metala kao teško rastvorljivih jedinjenja ne mogu primijeniti u prisustvu graditelja kompleksa, neophodno je da kandidat objasni osobine ovih jedinjenja, njihov uticaj na obradu otpadnih voda, regeneraciju galvanskih rastvora i mehanizam djelovanja.

### 2.2. Pregled istraživanja

Otpadne vode koje sadrže metalne komplekse načelno se obrađuju sljedećim osnovnim operacijama [1]:

- hemijsko taloženje metala sa jedinjenjima sumpora;
- eliminacija metala redukcijom metalnih jona do metalnog stanja;
- hemijska oksidacija graditelja kompleksa i taloženje metalnih hidroksida.

Taloženje teško rastvorljivih jedinjenja je moguće kada je koncentracija metalnih jona, koja je rezultat disocijacije teško rastvorljivog jedinjenja, mnogo manja od koncentracije metalnih jona koja odgovara disocijaciji kompleksnog jedinjenja.

U teško rastvorljiva jedinjenja (u obliku kojih taložimo metale) spadaju:

- metalni hidroksidi;
- metalni sulfidi;
- metalna jedinjenja sa organskim sulfidima.

Ako se uspije centralni metalni jon nekog kompleksa pomoću redukcije prevesti u metalno stanje, tada se on takođe eliminiše iz rastvora. Redukcija uvijek zavisi od konstante stabilnosti, koja je u ravnoteži sa dotičnim metalnim jonima.

Za redukciju u obzir dolaze sljedeće reakcije:

- izmjena jona (cementacija) sa jednim neplemenitijim metalom;
- hemijska reakcija sa nekim jakim redukcionim sredstvom;
- katodna redukcija.

Hemijska razaranja organskih graditelja kompleksa sa uobičajenim oksidacionim sredstvima, kao što su  $\text{KMnO}_4$  i  $\text{NaOCl}$ , višestruko su ispitana. Pod normalnim okolnostima, dobijeni su nezadovoljavajući rezultati [2]. Sa rastvorom natrijum-hipohlorita, samo etilendiamin, relativno dobro, a limunska kiselina neznatno oksidiše u alkalnom području [3].

Oksidaciono razaranje graditelja kompleksa je poželjan postupak, da bi se kasnije iz sedimenata (taloga), remobilizirao metal od vode i smanjio prostor za deponiju. Prethodno kompleksno vezani metali nakon oksidacije se mogu poznatim postupcima odvojiti, kao npr. taloženjem iz ispirne ili otpadne vode.

Poznati su i sljedeći postupci oksidacije razaranja graditelja kompleksa, a to su oksidacija sa ozonom, oksidacija sa vodonik peroksidom pod dejstvom UV svjetla i anodna oksidacija [4]. Ovi postupci do sada nisu tehnički zaživjeli. Postupak anodne oksidacije razaranja graditelja kompleksa je najmanje istražen, a dostupni literaturni podaci se odnose na obradu EDTA-rastvora [5,6].

Anodna oksidacija je elektrodna reakcija zasnovana na elektrolizi. Iako se elektroliza, a takođe i anodna oksidacija, kao fizičko-hemijski postupak, koristi za izdvajanje materija i recikliranje, već duže vrijeme se primjenjuje i za obradu otpadnih voda. Velika mogućnost elektrolize je i izdvajanje (recikliranje) plemenitih metala i oksidacija cijanida, što još uvijek nije u potpunosti šire prihvaćeno. Pri elektrolizi se odigravaju dva paralelna procesa, katodna i anodna reakcija. U svakom slučaju, zbog razaranja graditelja kompleksa, najinteresantnija je reakcija oksidacije (anodna reakcija) ili pak izdvajanje gasa (u najvećem broju slučajeva-kiseonika).

Kod hemijske obrade za razaranje cijanida dodaju se jaka oksidaciona sredstva kao natrijum hipohlorit, hlor (gas), vodonik peroksid, aktivni kiseonik, hromati i permanganati [7,8,9].

Oksidacija cijanida sa natrijum-hipohloritom je do sada najčešće korišćena hemijska metoda obrade [10]. Uvođenjem novog parametra, pri obradi otpadnih voda

(1990. godine uvršten je u njemački standard AbwAG) tzv. AOX (adsorbirajući organohalogenidi - grupa halogenovanih organskih supstanci, koje su u mogućnosti da se adsorbiraju na aktivnom uglju) i zbog neophodnih novih analitičkih metoda, ovaj problem je slabo poznat do danas. Pri obradi otpadnih voda koje sadrže male količine organskih jedinjenja, hlorovanje se vrši sa oksidacionim sredstvima koja sadrže hlor (najčešće hipohlorit), pri čemu nastaju jedinjenja poznata kao AOX. Istovremeno sa AOX, pojavljuju se i halogeni ugljenovodonici (HKW) u obliku hlorovanih ugljovodonika [9].

Do sada, najčešći korišćeni postupak obrade otpadnih voda sa prisustvom graditelja kompleksa je taloženje rastvorenih metala sa jedinjenjima sumpora, kao što je natrijumsulfid,  $\text{Na}_2\text{S}$ , ili organosulfidima kao dietil- ili dimetilditiokarbamat, i drugi poznati pod trgovačkim imenom Plekson, Lugalvan SC9532, TMT 15, Sedigant C, Optifloc TC, Okson i dr. Pri obradi otpadnih voda sulfidi se doziraju u zavisnosti od koncentracije metala. Višak sulfida se uklanja sa željezo (III) hloridom ili vodonik-peroksidom. U praksi se dobrim pokazala kombinacija natrijum sulfida i organo sulfida [12].

Imajući u vidu probleme koje izaziva prisustvo hlora, najčešće istraživani oksidacioni postupci su: oksidacija sa ozonom i oksidacija sa vodonik-peroksidom pod dejstvom ultravioletne svjetlosti.

Poznato je da se nikal-cijanid sigurno oksiduje sa natrijum-hipohloritom ( $\text{NaOCl}$ ), vodonik-peroksidom ( $\text{H}_2\text{O}_2$ ) ili kalijum-peroksid-monosulfatom ( $\text{KHSO}_5$ ), u vremenu do 48 časova, dok se sa ozonom ta oksidacija izvodi za dva časa, do granične vrijednosti od 0,2 mg CN/L [12,13]. Međutim, željezo cijanid,  $\text{Fe}(\text{CN})_6$ , kao heksacijanoferrat je sa ozonom vrlo teško obradiv. Iskustvo je pokazalo da se nekad ne može izbjeći problematika AOX-a.

Ako industrijske otpadne vode sadrže visoku koncentraciju štetnih materija do nekoliko grama po litru, obrada ozonom može imati sljedeće poteškoće:

- nisku brzinu reakcije između gasovitog ozona i štetnih materija rastvorenih u vodi;
- unosom ozona nastaje jaka pjena od prisustva tenzida;
- gubitak ozona prije dostizanja završetka reakcije;
- određivanje produkata reakcije.

Nakon dužeg istraživačkog rada riješeni su neki od navedenih problema [12]. Pošto ozon sa koncentracijom od samo  $0,1 \text{ mg/m}^3$  predstavlja visokootrovan gas, neophodno se pridržavati niza sigurnosnih mjera.

Kod anodne oksidacije odvija se oksidacija cijanida direktno kroz oduzimanje elektrona ili pomoću kiseonika, bez nastajanja međuprodukta (AOX-a). Zbog toga i iz ekonomskih razloga, preporučuje se postupak anodne oksidacije za razaranje cijanida, naročito za koncentrovane rastvore.

Jako razblaženi cijanidni rastvori se prema današnjem saznanju, mogu elektrolitički razoriti sa dobrim iskorišćenjem struje. Već malo prisustvo hlorida u rastvoru omogućava indirektnu reakciju oksidacije cijanida, čiji kinetički tok je povoljniji [14]. Kod anodne oksidacije cijanida u prisustvu hlorida treba očekivati AOX problematiku i prisustvo soli u otpadnoj vodi. Hloridi mogu da postoje već u rastvoru i kod anodne oksidacije obrazuje se AOX [13]. Jedan od važnijih uticaja na anodnu oksidaciju i njen tok može imati izbor anodnog materijala što je i dokazano kod obrade otpadnih voda kožarske industrije [15].

Kombinacija anodne oksidacije i obrade ozonom je istraživana kod obrade otpadnih voda farmaceutske industrije koje sadrže karakteristične mikropolutante i određene farmaceutske supstance (npr. diazepam, karbamazepin i dr.). Studija je pokazala veću djelotvornost anodne oksidacije pri gustinama struje  $45,5 \text{ mA/cm}^2$  i protoku od 26 L/h otpadne vode [16].

Organske materije koje uzrokuju povećanu vrijednost HPK su tenzidi, dodaci za sjaj, dodaci za poravnavanje, inhibitori, graditelji kompleksa, formaldehidi, lakovi i razrijeđivači, sredstva za hlađenje i drugo. Teza obuhvata opis upotrebe anodne oksidacije kao jedan od mogućih postupaka za eliminaciju organskih i neorganskih materija u otpadnim vodama metalo-prerađivačke industrije. Oksidacija materija sadržanih u otpadnim vodama anodnom oksidacijom predstavlja direktno oduzimanjem elektrona na anodi ili indirektno obrazovanjem aktivnog kiseonika, odnosno OH – radikala.

Pored razaranja kompleksa, pri anodnoj oksidaciji zapaženo je i jako smanjenje HPK vrijednosti. Kod rastvora niki-EDTA dolazi do smanjenja HPK vrijednosti od 7230 do 210 mg/L [12].

Najvažnije područje primjene anodne oksidacije, pored oksidacije cijanida i graditelja kompleksa, je regeneracija kiselih procesnih rastvora u tehnici obrade metalnih površina.

U mnogim publikacijama je objavljeno da se trovalentni hrom, u elektrolitu za hromiranje, može oksidisati na anodi do hromne kiseline ( $\text{Cr}^{6+}$ ), uz vrlo veliko iskorišćenje struje. Da bi došlo do migracije trovalentnih jona od katode mora se podesiti istosmjerni napon za optimalni transport materijala prema anodi [17-20].

U praksi i literaturi je poznato recikliranje hromnih i bakarnih rastvora pomoću jonoizmjenjivačkih smola. Dva različito valentna jona hroma ( $\text{Cr}^{3+}$  i  $\text{Cr}^{6+}$ ) se izdvajaju pomoću dva različita separaciona postupka. Hrom (VI) se reciklira na jako baznoj Dowex 1x8 smoli, a hrom (III) sa slabo kiselom Amberlite IRC-50 smolom. U pogonima čije otpadne vode sadrže visok nivo organskih primjesa, Cr (VI) se prirodno redukuje do Cr (III) pri zakiseljavanju, i bilo bi ekonomičnije regenerisati sav hrom u obliku Cr (III). Bakar iz kiselog kupatila se može reciklirati pomoću Dovex 50x8 jonoizmjenjivačke smole, a iz alkalno-cijanidnih kupatila prvo se trebaju oksidovati

cijanidni joni pomoću hipohlorita, zatim neutralizovati, a recikliranje bakra se vrši pomoću Amberlite IRC-718 helatne smole [21].

### 2.3. Radna hipoteza sa ciljem istraživanja

U prijavljenoj doktorskoj tezi, kandidat će pokušati dokazati efikasnost anodne oksidacije kod prečišćavanja otpadnih voda i postupke recikliranja u sljedećim slučajevima:

- oksidacija cijanida;
- razaranje graditelja kompleksa;
- smanjenje hemijske potrošnje kiseonika (HPK);
- recikliranje rastvora u galvanotehnici.

Anodna oksidacija cijanida zavisi od gustine struje, sastava rastvora, radne temperature i korišćenog anodnog materijala, te je potrebno da kandidat ispita i predstavi utvrđene zavisnosti kao i mehanizam reakcije oksidacije cijanida. Zatim, ispita uticaj prisustva hloridnih jona na iskorišćenje struje i formiranje AOX-a i mogućnosti njihovog uklanjanja.

Pretpostavka je da najveći uticaj na iskorišćenje struje ima anodni materijal, koji ujedno utiče i na izdvajanje metala (prisutnih u cijanidnom rastvoru) na katodi, što bi predstavljao jedan od argumenata ekonomičnosti metode. Na izdvajanje metala, a ujedno i na ekonomičnost metode, veliki uticaj ima i gustina struje koja utiče i na strukturu izdvojenog metala (duktilni, spužvasti ili praškasti depoziti). Prema tome, postupak anodne oksidacije daje vrlo povoljne uslove za izdvajanje plemenitih metala iz galvanskih rastvora i otpadnih voda.

Razaranje graditelja kompleksa anodnom oksidacijom odvija se u anodnom prostoru. Zavisno od vrste kompleksa, kandidat treba definisati produkte nastale i u katodnom prostoru i dokazati primjenu elektrolitičke obrade kod EDTA-rastvora, koji sadrže bakar (hemijsko taloženje bakra). Pored toga, potrebno je ispitati i primjenu postupka za rastvorenje kompleksa tartarata i glukonata koji sadrže bakar, nikel, cink ili kadmijum i napraviti uporednu analizu sa do sada poznatim postupcima.

Iako su mnogi autori dali važna uputstva za objašnjenje razgradnje graditelja kompleksa u galvanskim rastvorima, njihov reakcioni mehanizam nije do kraja razjašnjen.

Poznato je, na osnovu literaturnih podataka, da pri anodnoj oksidaciji dolazi i do smanjenja HPK-vrijednosti. Zbog toga će se u toku istraživanja, kandidat pratiti ponašanje HPK-vrijednosti rastvora i utvrditi mogućnosti primjene ovog postupka pri obradi otpadnih voda.

Važan dio primjene ovog postupka je mogućnost regeneracije hromatnih elektrolita oksidacijom  $\text{Cr}^{3+}$  do hromne kiseline ( $\text{Cr}^{6+}$ ), uz istovremeno eliminisanje stranih metala, primjenom odgovarajuće katjon izmjenjivačke membrane. Na sličan način, kandidat će se ispitati i mogućnost regeneracije rastvora za nagrizanje metalnih površina.

Kao osnovni osnovni cilj ove teze kandidat navodi istraživanje i primjenu postupka elektrolitičke obrade (anodne oksidacije) za razaranje graditelja kompleksa. Kroz serije eksperimenata i istraživanja, potrebno je dokazati i druge mogućnosti primjene kao što su: oksidacija cijanida (cijano-kompleksa), smanjivanje vrijednosti hemijske potrošnje kiseonika (HPK) i recikliranje rastvora u galvanotehnici.

Kod postupka razaranja kompleksa, pored anodne oksidacije odvijaju se i razni katodni procesi (npr. izdvajanje metala) koji su, zbog njihove moguće primjene, takođe predmet ove teze. Tu se prvenstveno misli na izdvajanje (recikliranje) plemenitih metala iz zasićenih galvanskih rastvora i otpadnih voda. Dakle, osim ekoloških, često postoje i ekonomski interesi za izdvajanje sastojaka otpadnih voda.

## 2.4. Materijal i metod rada

Postupak anodne oksidacije prvenstveno zavisi od gustine struje, sastava rastvora, radne temperature i korišćenog anodnog materijala. Stoga je za uspješan eksperimentalni rad potrebno obezbjediti standardnu elektrohemijsku aparaturu (potenciostat, galvanostat i generator funkcija) i odgovarajući anodni i katodni materijal (čelik, nerđajuće čelike, platinu, grafit, nikal, cink, platinirani titan i razne vrste dimenziono stabilnih anoda).

Da bi se utvrdila uloga graditelja kompleksa u galvanskim kupatilima i njihov uticaj na izdvajanje teških metala iz otpadnih voda, kandidat treba izvesti niz istraživanja koristeći galvanostatsku i potenciostatsku tehniku, kao i programirane strujno-naponske režime, pri korišćenju različitih kompleksanata i različitih teških metala.

Za određivanje strukture (mikrostrukture) izdvojenih metala potreban je optički mikroskop koji omogućava uvećanja do 2000 puta. Za istraživanje topografije, morfologije, rasporeda kristala unutar uzorka, potreban je skenirajući elektronski mikroskop (SEM) koji omogućava uvećanja i do 100.000 puta.

Kvantitativno određivanje graditelja kompleksa u otpadnim vodama izvodi se volumetrijskim metodama, kapilarnom elektroforezom, tečnom hromatografijom, polarografskim i spektrofotometrijskim postupcima.

Sadržaj teških metala u otpadnoj vodi prije i poslije njene obrade vršiće se gravimetrijskim metodama određivanja pojedinačnih elemenata, komplekso-

metrijskim, taložnim i oksidoredukcionim metodama. Za potrebe preciznijih mjerenja sadržaja teških metala koriste se instrumentalne analize kao što su: tankoslojna hromatografija, spektrofotometrija, gasna hromatografija, kolonska tečna hromatografija (HPLC, LLC, GLC), jonska hromatografija (IC), UV-VIS spektroskopija, atomska apsorpciona spektroskopija (GF-AAS), indukovano spregnuta plazma (ICP-OES, ICP-MS), elektrohemijaska striping analiza itd.

Kvantitativna analiza hlorida i cijanida se može vršiti taložnim metodama kao što je argentometrijsko određivanje cijanida i hlorida (Morova i Folhardova metoda).

Određivanje HPK-vrijednosti kandidat će vršiti pomoću zatvorene spektrofotometrijske refluks metode.

## 2.5. Naučni doprinos istraživanja

U prijavljenoj doktorskoj tezi, kandidat treba dati naučni doprinos istraživanju primjene anodne oksidacije.

Istraživanjem primjene anodne oksidacije pri oksidaciji cijanida kandidat će pokušati razjasniti uticaj anodnog materijala, gustine struje, sastava rastvora i radne temperature. Za razliku od poznatog postupka hemijske oksidacije, kandidat treba da pojasni mehanizam elektrohemijske oksidacije cijanida i predstavi elektrodne reakcije koje se odvijaju u elektrohemijaskoj ćeliji.

Pri razaranju graditelja kompleksa anodnom oksidacijom kandidat će se fokusirati na komplekse bakra i EDTA-komplekse različitih metala. Bakar se iz otpadnih voda koje sadrže aminopoliacetat taloži sa dimetilditiokarbamatom. Ovo nije moguće izvesti na zadovoljavajući način sa niklom, cinkom i kadmijumom pa će kandidat pokušati da ovaj nedostatak ispravi sa anodnom oksidacijom da bi zatvorili još jednu kariku obrade otpadnih voda koje sadrže metalne komplekse.

Efikasnost smanjenja HPK vrijednosti primjenom anodne oksidacije zavisi od mnogo faktora, a najviše od sastava otpadne vode. Kandidat treba da utvrdi mehanizam oksidacije na anodi i zavisnost prisustva hlorida u vodi i tehnoloških parametara. Takođe je potrebno predstaviti elektrodne reakcije u zavisnosti od pH vrijednosti rastvora i prisustva hlorida.

Pored anodne oksidacije u elektrohemijaskoj ćeliji odvijaju se i razni katodni procesi (npr. izdvajanje metala) koji su, zbog njihove moguće primjene, takođe predmet ove teze. Tu se prvenstveno misli na izdvajanje (recikliranje) plemenitih metala iz zasićenih galvanskih rastvora i otpadnih voda.

### 3. OCJENA I PRIJEDLOG

Na osnovu uvida u rad kandidata, priloženu dokumentaciju, biografiju kandidata i spisak objavljenih radova, zaključujemo da kandidat mr Borislav Malinović ispunjava sve formalne uslove za odobrenje teme za izradu doktorske disertacije u skladu sa važećim propisima, a posebno sa članom 58, Zakona o Univerzitetu i Statutom Univerziteta u Banjoj Luci.

Predložena tema je aktuelna i zanimljiva kako sa naučnog stanovišta, tako i sa stanovišta mogućnosti primjene. Navedene metode istraživanja predstavljaju moderne i pouzdane tehnike istraživanja pomoću kojih je moguće dobiti vrlo tačne i precizne rezultate. Istraživanja u okviru predložene teme su nastavak rada kandidata u okviru naučno-istraživačkog projekta u oblasti proučavanja hemijskog i elektrohemijskog izdvajanje teških metala iz elektrolita i otpadnih voda koji sadrže kompleksante, a neke od rezultata kandidat je već publikovao u eminentnim časopisima, ili saopštio na naučnim skupovima.

Komisija smatra da postoje realni uslovi da kandidat u daljem istraživanju može uspješno da realizuje postavljene zahtjeve i da dobije značajne originalne rezultate.

Na osnovu svega izloženog, članovi Komisije sa zadovoljstvom predlažu Nastavno-naučnom vijeću Tehnološkog fakulteta Univerziteta u Banjaluci da prihvati temu pod naslovom "**Primjena anodne oksidacije pri prečišćavanju otpadnih voda i recikliranja rastvora u galvanotehnici**" za izradu doktorske disertacije kandidata mr Borislava Malinovića.

Banja Luka, 01.07.2011.

dr Miomir Pavlović, redovni profesor

---

dr Nedeljko Čegar, redovni profesor

---

dr Jovo Mandić, redovni profesor

---

#### 4. CITIRANA LITERATURA U POGLAVLJU PREGLED ISTRAŽIVANJA

1. L. Hartinger: "Handbuch der Abwasser und Recycling Technik", Carl Hanser Verlag München Wien, 2001.
2. J. Mandić, M. Maksimović, S. Bunić, B. Malinović., „X YUCORR", Tara, Srbija, 2008, 106-113.
3. Hartinger, L.: "Taschenbuch der Abwasserbehandlung". Band 1 -Chemie, Carl Hanser Verlag, München, Wien, 1976.
4. B. Malinović, J. Mandić, M. Sorak, P. Dakić, „XII YUCORR", Tara, Srbija, 2010, 96-102.
5. Johnson, I. W. et al., J.Electrochem. soc. 119, 1972, 574-580.
6. Boich, T, Merzt, K., Müller, K. J., Galvanotechnik 79, 1988, 172-176.
7. Krusenstjern, A.V., Mussinger, W., Metalloberfläche, 1962, 263-266.
8. Lee, Tae-Yoon, Kwon, Young-Shik, Kim, Dong-Su., Journal of Environmental Science & Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering; Vol. 39 Issue 3, 2004, 787-801.
9. Gavriș, Georgeta; Cărăban, Alina; Tomulescu, Ioana; Merca, Vasilica; Mihaela, Edith Radoviciu, Studia Universitatis Vasile Goldis Seria Stiintele Vietii (Life Sciences Series), Vol. 18, 2008, 345-347.
10. M. Sarla, M. Pandit, D.K. Tyagiand, J.C. Kapoor., Journal of Hazardous Materials, Volume 116, Issues 1-2, 10, 2004, 49-56.
11. Bernd Bilitewski, Georg Härdtle, Klaus Marek.: "Waste management", Springer, New York, 1997.
12. Gräf, Hartinger, Lohmeyer, Schwering.: "Abwasser Technik in der Produktion", WEKA Fachverlag für technische Führungskräfte GmbH, 1995.
13. L. Hartinger.: "Abwasser- und Recyclingtechnik", Hanser-Verlag, 1991.
14. Bustos, S., Kammel, R., Steppke H. D., Metall 34, 9/80, 843-847.
15. Lidia Szpyrkowicza, Santosh N. Kaulb, Rao N. Netib, Shanta Satyanarayan, Water Research 39, 2005, 1601–1613.

16. Hannes M. Menapace, Nicolas Diaz, Stefan Weiss, *Journal of Environmental Science and Health Part A*, 43, 2008, 961–968.
17. Nohse, F., *Fachberichte in der Galvanotechnik, Fachberichte für Oberflächentechnik* 11, 19/ 262-264.
18. Gülbas, M., *Metalloberfläche* 42, 1988, 191-195.
19. Heymann, K., *Schering-Kolloqium, Sindelfingen* 1977.
20. Gross, W., Heger, K., Nowack, N., *Galvanotechnik* 72, 1981, 1307-1309.
21. Sibel Yalcin, Resat Apak, Julide Hizal, Huseyin Afsar, *Separation Science and Technology*, 36(10), 2001, 2181–2196.