

**NASTAVNO-NAUČNOM VEĆU
TEHNOLOŠKO-METALURŠKOG FAKULTETU
UNIVERZITETA U BEOGRADU**

Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu održanoj 27.12.2012. godine, imenovani smo za članove Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije kandidata mr Slavka Smiljanića, dipl. inž. tehnologije, pod nazivom: **“Proučavanje tretmana, fizičko-hemijskih svojstava crvenog mulja i parametara sorpcije na efikasnost uklanjanja jona nikla iz vodenih rastvora”**. Posle pregleda i analize dostavljenog materijala, Komisija podnosi Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu, sledeći

**IZVEŠTAJ
o urađenoj doktorskoj disertaciji**

1. UVOD

1.1. Naslov i obim disertacije

Doktorska disertacija mr Slavka Smiljanića napisana je na 172 strane, u okviru kojih se nalazi 6 poglavlja, sa ukupno 55 slika, 16 tabela i 342 literatura navoda. Doktorska disertacija ima uobičajnu strukturu i sastoji se iz sledećih celina: Uvod, Teorijski deo, Eksperimentalni deo, Rezultati i diskusija, Zaključak i Literatura, kao i izvoda na srpskom i engleskom jeziku.

1.2. Hronologija odobravanja i izrade disertacije

- 14.03.2011. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta doneta je Odluka o odobravanju predloga teme doktorske disertacije mr Slavka Smiljanića, dipl. inž. tehnologije, pod nazivom: “Proučavanje tretmana, fizičko-hemijskih svojstava crvenog mulja i parametara sorpcije na efikasnost uklanjanja jona nikla iz vodenih rastvora”, a za mentora ove doktorske disertacije imenovan je dr Dušan Antonović, redovni profesor TMF-a.
- 06.06.2011. – Na sednici Veća naučnih oblasti tehničkih nauka Univerziteta u Beogradu data je saglasnost na predlog teme doktorske disertacije mr Slavka Smiljanića, dipl. inž. tehnologije, pod nazivom: “Proučavanje tretmana, fizičko-hemijskih svojstava crvenog mulja i parametara sorpcije na efikasnost uklanjanja jona nikla iz vodenih rastvora”.
- 27.12.2012. – Na sednici Nastavno-naučnog veća Tehnološko-metalurškog fakulteta doneta je Odluka o imenovanju članova Komisije za ocenu i odbranu doktorske disertacije mr Slavka Smiljanića, dipl. inž. tehnologije, pod nazivom: “Proučavanje tretmana, fizičko-hemijskih svojstava crvenog mulja i parametara sorpcije na efikasnost uklanjanja jona nikla iz vodenih rastvora”.

1.3. Mesto disertacije u odgovarajućoj naučnoj oblasti

Istraživanja u okviru ove doktorske disertacije pripadaju naučnoj oblasti Hemija i Hemijska tehnologija (uža naučna oblast Inženjerstvo zaštite životne sredine) za koju je matičan Tehnološko-metalurški fakultet Univerziteta u Beogradu.

1.4. Biografski podaci o kandidatu

Mr Slavko Smiljanić, diplomirani inženjer tehnologije rođen je 29.09.1973. god. u Loznici. Osnovnu školu završio je u Malom Zvorniku, a srednju u Zvorniku. Diplomirao je na Tehnološkom fakultetu u Zvorniku, Univerziteta u Istočnom Sarajevu 2000. god. sa prosečnom ocenom 8,41 i ocenom 10 na diplomskom ispitu. Po završetku studija radio je u privredi. Postdiplomske studije završio je na Tehnološko-metalurškom fakultetu u Beogradu (smer „Inženjerstvo zaštite životne sredine”) sa prosečnom ocenom 9,88. Magistarsku tezu pod nazivom „Uticaj komunalnih otpadnih voda Malog Zvornika na reku Drinu i predlog najpovoljnijeg rešenja njihovog tretmana“, odbranio je 2008. godine, pod mentorstvom Prof. dr Dušana Antonovića, čime je stekao zvanje magistar tehničkih nauka.

Od 2003. godine zaposlen je na Tehnološkom fakultetu u Zvorniku, kao asistent na predmetima: „Analiza zagađivača tla, vode i vazduha” i „Tehnologija vode”. Nakon završetka magistarskih studija biran je u zvanje višeg asistenta za užu naučnu oblast „Ekološko inženjerstvo“, na Univerzitetu u Istočnom Sarajevu.

Osim angažovanosti u izvođenju nastave, učestvovao je kao saradnik u izradi više studija i elaborata, kao i nekoliko projekata koji su realizovani od strane Tehnološkog fakulteta Zvornik Univerziteta u Istočnom Sarajevu.

Do sada je objavio 3 rada u vrhunskim međunarodnim časopisima (M21), 8 radova u časopisima nacionalnog značaja (M52), 14 radova saopštenih na skupovima međunarodnog značaja štampana u celini (M33), 2 rada saopštena na skupu međunarodnog značaja štampana u izvodu (M34). Pored navedenog kandidat je uradio i jednu recenziju za vrhunski međunarodni časopis *Journal of Hazardous Materials*, dve recenzije za međunarodni časopis *Desalination and Water Treatment* i jednu recenziju za međunarodni časopis *Fresenius Environmental Bulletin*.

2. OPIS DISERTACIJE

2.1. Struktura i sadržaj disertacije

Doktorska disertacija mr Slavka Smiljanića sadrži sledeća poglavlja: Uvod, Teorijski deo, Eksperimentalni deo, Rezultati i diskusija, Zaključak i Literaturu. Na početku disertacije dat je rezime na srpskom i engleskom jeziku.

2.2. Kratak prikaz pojedinih poglavlja

U uvodnom delu istaknut je problem zagađenja životne sredine niklom i ukazano je na njegov toksičan uticaj na živi svet. Imobilizacija teških metala nekonvencionalnim sorbentima je prepoznata kao pogodan postupak za prečišćavanje kontaminiranih voda. Iz tog razloga, razmotren je crveni mulj, otpadni produkt koji nastaje pri proizvodnji glinice iz boksitne rude, koji zbog svog raznorodnog sastava može predstavljati jeftin kompozitni sorbent za tretman otpadnih voda. Takođe, u uvodnom delu jasno su definisani predmet i ciljevi istraživanja.

Teorijski deo disertacije se sastoji iz tri poglavlja: 1) Crveni mulj, 2) Nikl i 3) Sorpcija. U prvom poglavlju date su informacije o hemizmu nastajanja, produkciji, fizičko-hemijskim svojstvima, hemijskom i mineraloškom sastavu, alkalitetu, površinskom naelektrisanju, odlaganju i uticaju na životnu sredinu i mogućnostima upotrebe crvenog mulja. Posebna pažnja je posvećena dosadašnjim istraživanjima upotrebe crvenog mulja u imobilizaciji katjona teških metala, a razmotreni su i mehanizmi sorpcije katjona teških metala na crvenom mulju. U drugom poglavlju opisani su zastupljenost, koncentracije i dominantne vrste nikla u životnoj sredini, izvori zagađenja, kao i potencijalno negativan uticaj dvovalentog nikla i njegovih jedinjenja na ekosistem i zdravlje ljudi. Razmotreni su najčešće korišćeni postupci za uklanjanje jona nikla iz vodenih sistema, a posebna pažnja posvećena je literaturnom pregledu alternativnih sorbenata. U trećem poglavlju razmatrani su sorpcija jona iz rastvora na površini oksida i pojave koje se pri tom dešavaju.

Eksperimentalni deo disertacije se sastoji od četiri dela: 1) Korišćene hemikalije i reagensi, 2) Priprema sorbenata, 3) Karakterizacija sorbenata, 4) Ispitivanje efikasnosti uklanjanja jona nikla iz vodenih rastvora u zavisnosti od vrste sorbenta i parametara procesa. U eksperimentalnom delu su navedene korišćene hemikalije i reagensi, dat je opis pripreme sirovog mulja i postupaka tretmana sorbenata, a predstavljene su i metode i tehnike karakterizacije sorbenata. Detaljno su opisani uslovi i postupci izvođenja eksperimenata sorpcije iz tečne faze primenom šaržne ekvibracione tehnike, kao i desorpcije nakon dostizanja ravnoteže.

U poglavlju Rezultati i diskusija, detaljno su analizirani i tumačeni eksperimentalno dobijeni rezultati. Ovo poglavlje sastoji se od pet delova: 1) Karakterizacija boksita, 2) Karakterizacija uzoraka sorbenta, 3) Ispitivanje uticaja vrste sorbenta i parametara procesa na efikasnost sorpcije, 4) Uticaj koegzistentnih jona na sorpciju nikla i 5) Desorpcija jona nikla.

U prvom delu dati su rezultati karakterizacije rude boksita. Rezultati su pokazali da se radi o boksitu bemitnog tipa. Pored bemita glavnu mineralnu frakciju predstavljao je hematit, a značajno je i prisustvo kaolinita, anatasa i rutila i kalcita.

U drugom delu dati su rezultati karakterizacije sorbenata. Hemijski sastav je određen za odabrane sorbente (polazni uzorak – BRM, isprani crveni mulj – RBRM i isprani crveneni mulj žaren na 600 °C – RBRM600). Pokazano je da se ispitivani sorbenti uglavnom sastoje od oksida gvožđa, aluminijuma, silicijuma i titana, pri čemu je oksid gvožđa predstavljao najzastupljeniju komponentu. Primenom XRD analize određene su glavne kristalne faze za BRM, RBRM, termički tretirane RBRM uzorke i kiselinski tretirane BRM uzorke. Glavne kristalne faze u crvenom mulju bile su: hematit (Fe_2O_3), gibsit i bajerit ($\text{Al}(\text{OH})_3$), sodalit ($\text{Na}_8\text{Si}_6\text{Al}_6\text{O}_{24}\text{Cl}_2$), kvarc (SiO_2), anatas i rutil (TiO_2) i kalcit (CaCO_3). BRM uzorak je dodatno analiziran termičkom (DTA/DTG/DSC) i FT-IR analizom. FT-IR analizom potvrđeno je prisustvo hidroksilnih, karbonatnih, $\text{Si}(\text{Al})\text{-O}$ i Fe-O grupa na površini sorbenta, kao važnih centara za vezivanje metalnih jona. Sirovi uzorak odlikovao se malom specifičnom površinom ($7 \text{ m}^2/\text{g}$), visokim alkalitetom (pH

9,78–10,76, u zavisnosti od sadržaja čvrste faze) i visokom tačkom nultog naelektrisanja ($9,7 \pm 2$). Pokazano je da se tačka nultog naelektrisanja ne menja sa promenom koncentracije rastvora NaCl. Utvrđeno je da temeljno ispiranje crvenog mulja ne izaziva promene u mineralnom sastavu, ali da dovodi do sniženja pH vrednosti i tačke nultog naelektrisanja. Termički i kiselinski tretmani su izazivali različite promene u mineralnom sastavu u zavisnosti od temperature tretmana i koncentracije kiseline. Najznačajnije promene pri termičkom tretmanu su gubitak gipsita, bajerita i kalcita i transformacije sodalita. pH_{PZC} RBRM600 uzorka značajno je viša od vrednosti polaznog RBRM. Pri kiselinskom tretmanu, porast koncentracije kiseline doveo je do gubitka sodalita i kalcita, i rastvaranja kvarca. Nakon kiselinskih tretmana pH_{PZC} je značajno opala.

U trećem delu analiziran je uticaj tretmana, fizičko-hemijskih svojstava sorbenta i parametara sorpcije na efikasnost imobilizacije jona nikla iz vodenih rastvora. Analizirani su i mehanizmi sorpcije u zavisnosti od parametara procesa i primenjenih sorbenata. Pokazano je da inicijalna pH vrednost najviše utiče na sorpciju nikla u kiselom području (pH 1–4). U pH opsegu 4–8 imobilizacija je relativno konstantna i zavisna je od koncentracije jona u rastvoru. Pri konstantnoj pH, efikasnost sorpcije nikla se smanjuje sa povećanjem koncentracije sorbata. Sa porastom pH iznad 8, efikasnost se povećava nezavisno od koncentracije sorbata. Površinska precipitacija je bila glavni mehanizam uklanjanja katjona iz rastvora niske koncentracije ($\leq 1 \times 10^{-3}$ mol/L) i pri visokim pH. Pri višim koncentracijama evidentan je doprinos specifične sorpcije u ukupnom mehanizmu imobilizacije. Isprani uzorak pokazao je nižu efikasnost imobilizacije od sirovog crvenog mulja. Žarenje sirovog mulja nije izazvalo značajnije promene efikasnosti u odnosu na polazni uzorak. Generalno, efikasnost žarenih BRM prahova je veća u odnosu na efikasnost žarenih RBRM. U slučaju žarenih RBRM, pri svim ispitivanim pH, efikasnost imobilizacije raste sa porastom temperature do 600°C , dostiže maksimum, a zatim opada sa daljim porastom temperature. Uzorci tretirani kiselinom su pokazali manju efikasnost sorpcije u odnosu na BRM. Pokazano je da ključnu ulogu u efikasnosti različito tretiranih sorbenata ima njihova pH vrednost i da gubitak sodalita pri termičkom i kiselinskom tretmanu nepovoljno utiče na sorpciju nikla. Pri sorpciji jona nikla pH_{PZC} se pomera ka nižim vrednostima, što ukazuje na specifičnu sorpciju. Povećanje mase sorbenta u suspenziji pospešuje efikasnost imobilizacije, a kinetika sorpcije, kao i efikasnost procesa, su u funkciji polazne koncentracije jona nikla. Sa povećanjem koncentracije sorbata ukupna efikasnost procesa se postepeno smanjuje. Maksimalni kapaciteti sorpcije za BRM, RBRM i RBRM600 sorbente, dobijeni na osnovu eksperimentalnih rezultata iznosili su: 0,47 mmol/g, 0,37 mmol/g i 0,48 mmol/g, respektivno. Dobijeni podaci su fitovani pomoću Langmuir-ovog i Freundlich-ovog modela. Bolji koeficijenti korelacije dobijeni su korišćenjem Langmuir-ovog modela.

U četvrtom delu analiziran je uticaj prisutnih jona u rastvoru (koncentracije 10^{-4} – 10^{-2} mol/L) na efikasnost sorpcije nikla. Ispitivanje uticaja koegzistentnih katjona na sorpciju nikla pomoću RBRM600 sorbenta je pokazalo da prisustvo Na^+ i K^+ u proučavanom opsegu nije imalo uticaja. Ca^{2+} izaziva blagi pad efikasnosti, koji je izraženiji pri višim inicijalnim koncentracijama. Prisustvo dvovalentnih jona teških metala značajno je redukovalo sorpciju nikla. Uticaj teških metala, pri višim inicijalnim koncentracijama, opada u nizu: $\text{Cu}^{2+} > \text{Pb}^{2+} \geq \text{Zn}^{2+} > \text{Cd}^{2+}$. Prisustvo organskih i neorganskih anjona smanjuje efikasnost sorpcije jona nikla RBRM600 sorbentom, u sledećem nizu: EDTA > hromat > acetat > sulfat, dok fluorid pokazuje slab pozitivan efekat. Koegzistentni citratni anjon smanjuje efikasnost uklanjanja Ni^{2+} jona pomoću BRM, naročito u kiseloj sredini i pri molskim odnosima $\text{Ni}/\text{citrat} \geq 1:1$.

U petom delu ispitana je stabilnost sorbenata opterećenih niklom. Desorpcija jona nikla iz opterećenih sorbenata pokazala je zavisnost od prethodno sorbovane količine, vrste sorbenta i sastava ličing rastvora. Rezultati ispitivanja desorpcije su pokazali da bi opterećeni sorbenti bili veoma stabilni pri uslovima koji vladaju u životnoj sredini.

U Zaključku su koncizno izneti postignuti rezultati istraživanja koji odgovaraju postavljenim ciljevima disertacije.

Na kraju disertacije navedena je Literatura, koja sadrži sve reference citirane u radu.

3. OCENA DISERTACIJE

3.1. Savremenost, originalnost i značaj

Prednosti primene procesa sorpcije u odnosu na druge metode obrade zagađenih voda zasnovane su na jednostavnosti tehnologije i potrebne opreme i mogućnosti izbora i primene efikasnih i selektivnih sorbenata. Savremena istraživanja se sve više baziraju na ispitivanju sorpcionih procesa na nekonvencionalnim sorbentima u cilju pronalazjenja sistema veće efikasnosti i selektivnosti, a manjih cena u odnosu na one koji su trenutno u upotrebi. Sorpcija toksičnog i potencijalno kancerogenog dvovalentnog nikla iz vodenih rastvora pomoću jeftinih sorbenata predstavlja atraktivno polje istraživanja zbog primene u remedijaciji površinskih i podzemnih voda, tretmanu industrijskih efluenata i smanjenju negativnog uticaja na ekosistem i zdravlje ljudi.

Predmet ove doktorske disertacije je ispitivanje mogućnosti primene sorbenata na bazi crvenog mulja za uklanjanje jona nikla iz vodenih sistema. Zbog raznorodnog sastava, crveni mulj je prepoznat kao potencijalni kompozitni sorbent, koji je jeftin i dostupan u velikim količinama. Iako je sproveden veliki broj istraživanja o primeni crvenog mulja za uklanjanje teških metala iz vodenih rastvora, ta istraživanja su retko sveobuhvatna, mehanizmi interakcije jona i sorbenta nisu potpuno razjašnjeni, a samo nekoliko istraživača je dalo kraći osvrt i na mogućnost uklanjanja jona nikla.

Rezultati istraživanja prikazani u ovoj disertaciji predstavljaju značajan doprinos ispitivanjima mogućnosti uklanjanja jona nikla iz vodenih rastvora pod različitim uslovima. Utvrđivanje optimalnog postupka za imobilizaciju jona nikla iz vode pomoću sorbenata na bazi crvenog mulja, predstavlja doprinos kojim se proširuju mogućnosti uklanjanja jona nikla iz vodenih sistema. Poznavanje sorpcionih svojstava crvenog mulja prema jonima Ni^{2+} od velike je važnosti i za hemiju životne sredine, zbog izučavanja procesa migracije jona metala u prirodi i pronalaženja tehnoloških rešenja za njihovu imobilizaciju, kao i za razumevanje složenih mehanizama sorpcije pod različitim uslovima. Značaj prikazanih rezultata ogleda se i u objašnjenju uticaja primenjenih vidova tretmana na svojstva dobijenih sorbenata i na njihovu efikasnost. Kandidat je proširio do sada poznata saznanja o postupcima tretmana i karakteristikama sorbenata na bazi crvenog mulja, mogućnostima njihove primene u imobilizaciji katjona teških metala iz vodenih sistema i mehanizmima sorpcije jona nikla.

3.2. Osvrt na referentnu i korišćenu literaturu

U doktorskoj disertaciji je citirano 342 literaturnih navoda, koji su tokom izrade disertacije poslužili kao dobra teorijska osnova da se sagleda stanje u proučavanoj problematici, formulišu ciljevi i smernice ispitivanja i prikaže aktuelnost odabrane problematike u naučnim krugovima. Najveći broj citata čine najnoviji radovi iz međunarodnih časopisa sa tematikom značajnom za izradu doktorske disertacije.

Na osnovu navedenog, kao i na osnovu obrazloženja predložene teme doktorske disertacije i objavljenih radova koje je kandidat priložio, uočava se adekvatno poznavanje predmetne oblasti istraživanja, kao i poznavanje aktuelnog stanja istraživanja u ovoj oblasti u svetu.

3.3. Analiza primenjenih naučnih metoda i njihova adekvatnost za sprovedeno istraživanje

U ovoj doktorskoj disertaciji primenjene su savremene naučne metode za karakterizaciju korišćenih sorbenata i ispitivanje sorpcije iz tečne faze. Za hemijsku analizu boksita i sorbenata korišćene su standardne procedure za analizu različitih oksida. Rendgenska difrakciona analiza (XRD) je korišćena za identifikaciju prisutnih kristalnih faza. Infracrvena spektroskopija (FT-IR) je primenjena kao kvalitativna metoda kojom su na osnovu položaja adsorpcionih traka identifikovane funkcionalne grupe na površini sorbenta. Za identifikaciju i praćenje promena faznog sastava u toku žarenja sorbenta korišćene su metode termalne analize (DTA/DTG/DSC). Za određivanje specifične površine BRM sorbenta korišćena je BET metoda. Određivanje pH vrednosti sorbenata izvršeno je po metodi EPA 9045D, a određivanje tačke nultog naelektrisanja izvršeno je primenom metode uravnotežavanja posebnih proba. Za određivanje specijacije nikla u rastvoru u zavisnosti od pH korišćen je softverski paket Visual MINTEQ. Uticaj parametara procesa i vrste sorbenta na sorpciju jona nikla, kao i desorpcija iz opterećenih sorbenata, ispitani su u šaržnim ekvilibracionim uslovima (primenom metode uravnotežavanja). Koncentracija jona nikla u rastvoru pre i nakon sorpcije/desorpcije određena je metodom atomske apsorpcione spektrometrije (AAS).

3.4. Ocena primenljivosti i verifikacije ostvarenih rezultata

Na osnovu eksperimentalnih ispitivanja i dobijenih rezultata iz ovog rada, ostvaren je značajan doprinos u istraživanju sorbenata za uklanjanje jona nikla iz vodenih rastvora. Doprinos se ogleda i u iznalaženju mogućnosti korisne upotrebe otpadnog crvenog mulja. Podaci o sastavu i fizičko-hemijskim svojstvima korišćenih sorbenata imaju praktičan značaj, jer bliže određuju mogućnosti njihove primene. Podaci dobijeni ispitivanjem sorpcionih/desorpcionih procesa važni su sa aspekta predloženih mehanizama sorpcije i potencijalne primene istraživanog materijala kao sorbenata teških metala iz tečne faze, u prečišćavanju kontaminiranih voda. Poznavanje optimalnih uslova tretmana i uticaja parametara sorpcije neophodno je za tehno-ekonomsku analizu, i omogućava potencijalnu primenu analiziranih materijala u procesu prečišćavanja vode kontaminirane jonima nikla.

Svi izvedeni eksperimenti su detaljno opisani na takav način da se dobijeni rezultati mogu lako reprodukovati, odnosno verifikovati. Verifikacija rezultata je potvrđena i od strane međunarodne naučne javnosti, objavljivanjem tri rada u vrhunskom međunarodnom časopisu iz domena ove problematike.

3.5. Ocena sposobnosti kandidata za samostalan naučni rad

Tokom izrade doktorske disertacije mr Slavko Smiljanić, dipl. inž. tehnologije, je ispoljio stručnost, samostalnost, sistematičnost i kreativnost, što se oslikava i u izuzetnoj analizi dobijenih rezultata. Na osnovu dosadašnjeg zalaganja i postignutih rezultata Komisija je mišljenja da kandidat poseduje sve kvalitete neophodne za samostalan naučnoistraživački rad.

4. OSTVARENI NAUČNI DOPRINOS

4.1. Prikaz ostvarenih naučnih doprinosa

U okviru ove doktorske disertacije ostvaren je značajan doprinos u razumevanju mehanizama sorpcije jona nikla iz tečne faze sorbentima na bazi crvenog mulja, kao i u saznanjima o procesu sorpcije. Poseban doprinos u disertaciji predstavljaju informacije o dobijanju novih sorbenata na bazi crvenog mulja nakon primene odgovarajućeg tretmana na polazni material i o uticaju prisutnih jona na efikasnost procesa. U cilju boljeg razumevanja ispitanih procesa izvršena je karakterizacija korišćenih sorbenata. Definisani su i optimalni uslovi za postizanje najvišeg stepena efikasnosti.

Doktorska disertacija doprinosi povećanju nivoa znanja o:

- mehanizmu sorpcije jona nikla iz tečne faze na crvenom mulju,
- uticaju tretmana crvenog mulja na kapacitet i mehanizme sorpcije,
- uticaju pH, inicijalne koncentracije jona nikla, vremena kontakta i količine sorbenta na kapacitet sorpcije,
- uticaju koegzistentnij jona na efikasnost sorpcije,
- stabilnosti sorbenata opterećenih jonima nikla, u različitim uslovima.

Na osnovu izloženog može se zaključiti da je kandidat svojim rezultatima dao veliki naučni doprinos pre svega u oblasti proučavanja procesa sorpcije nikla iz tečne faze i razvoju postupaka za valorizaciju crvenog mulja kao kompozitnog sorbenta.

4.2. Kritička analiza rezultata istraživanja

Istraživanja u okviru ove disertacije su koncipirana na osnovu definisanih ciljeva i detaljne analize literature iz oblasti primene otpadnih materijala za sorpciju kationa teških metala iz rastvora. U okviru ove disertacije primenjena je metodologija istraživanja zastupljena u literaturi, ali je sprovedeno istraživanje temeljnije, a pri tretmanu polaznog uzorka i ispitivanju uticaja parametara procesa, primenjeni su i neki originalni postupci. Primenjena metodologija je omogućila da se dobiju relevantni podaci za objašnjenje mehanizma sorpcije iz tečne faze, kao i uticaja uslova tretmana i parametara procesa na mehanizme i efikasnost sorpcije. Dobijeni rezultati su pokazali da nije bilo značajnijih odstupanja i neslaganja rezultata od očekivanih. Rezultati iz različitih eksperimenata su u saglasnosti i međusobno se dopunjuju, što ukazuje na adekvatan izbor metodologije ispitivanja. Uvidom u dostupnu literaturu iz ove oblasti istraživanja i rezultate istraživanja dobijene u okviru ovoga rada, može se primetiti da dobijeni rezultati predstavljaju korak napred u ovoj oblasti. Posebno su značajni rezultati ispitivanja koji pokazuju da se ispitivani materijali mogu praktično primenjivati.

4.3. Očekivana primena rezultata u praksi

Rezultati predstavljeni u okviru ove doktorske disertacije omogućavaju bolje razumevanje procesa sorpcije iz tečne faze na crvenom mulju i oksihidroksidima metala. Praćenjem količine sorbovanih jona iz vodenog rastvora utvrđeno je da crveni mulj predstavljaju efikasan sorbent za imobilizaciju jona nikla. Ispiranjem je smanjen kapacitet sorpcije, ali je takav materijal predstavljao benigniji sorbent kada je u pitanju uticaj na životnu sredinu. Žarenje na 600 °C, u toku tri časa, se pokazalo kao efikasan tretman za revalorizaciju ispranog mulja u efikasniji sorbent.

Prikazani rezultati imaju veliki potencijal za primenu u imobilizaciji teških metala iz otpadnih voda, a mogu poslužiti i kao osnova za dalja istraživanja u cilju pronalaženja sistema veće efikasnosti.

4.4. Verifikacija naučnih doprinosa

Rezultati istraživanja koji čine ovu doktorsku disertaciju objavljeni su u naučnim časopisima i prezentovani na naučnim skupovima. Iz disertacije su do sada proistekla tri rada objavljena u vrhunskom međunarodnom časopisu (M21) i jedan rad saopšten na međunarodnom skupu (M33).

Radovi objavljeni u vrhunskom međunarodnom časopisu (M21):

1. **S. Smiljanić**, I. Smičiklas, A. Perić-Grujić, B. Lončar, M. Mitrić, Rinsed and thermally treated red mud sorbents for aqueous Ni^{2+} ions, Chem. Eng. J. 162 (2010) 75-83. ISSN: 1385-8947, IF 3,074 (2010).
2. **S. Smiljanić**, I. Smičiklas, A. Perić-Grujić, M. Šljivić, B. Đukić, B. Lončar, Study of factors affecting Ni^{2+} immobilization efficiency by temperature activated red mud, Chem. Eng. J. 168 (2011) 610-619. ISSN: 1385-8947, IF 3,461 (2011).
3. I. Smičiklas, **S. Smiljanić**, A. Perić-Grujić, M. Šljivić-Ivanović, D. Antonović, The influence of citrate anion on Ni(II) removal by raw red mud from alumina industry, Chem. Eng. J. 214 (2013) 327-335. ISSN: 1385-8947. IF 3,461 (2011).

Radovi saopšteni na skupu međunarodnog značaja štampani u celini (M33):

1. A. Milenković, **S. Smiljanić**, I. Smičiklas, M. Šljivić-Ivanović, Removal of Ni(II) ions by temperature treated red mud from aluminum industry, 11th International Conference on Fundamental and Applied Aspects of Physical Chemistry, 24-28 September, Belgrade, Serbia, 2012, Proceedings, Volume 2, pp.636-638. ISBN 978-86-8275-28-6.

4.5. Kratak osvrt na disertaciju u celini

Na osnovu svega napred iznetog Komisija smatra da doktorska disertacija mr Slavka Smiljanića dipl. inž. tehnologije, pod nazivom **“Proučavanje tretmana, fizičko-hemijskih svojstava crvenog mulja i parametara sorpcije na efikasnost uklanjanja jona nikla iz vodenih rastvora”** predstavlja značajan, originalni naučni doprinos u oblasti Hemije i hemijske tehnologije, što je potvrđeno objavljivanjem radova u vrhunskim časopisima međunarodnog značaja i saopštenja na međunarodnim konferencijama.

Komisija smatra da urađena doktorska disertacija u potpunosti ispunjava sve zahtevane kriterijume koji se primenjuju prilikom vrednovanja doktorske disertacije na Tehnološko-metalurškom fakultetu Univerziteta u Beogradu. Izloženi materijal je sistematizovan i dobro organizovan. Predmet i ciljevi istraživanja su jasno navedeni, a ostvareni rezultati i doprinos istraživanja su verifikovani kroz objavljene naučne publikacije.

4.6. Predlog Komisije Nastavno-naučnom veću

Imajući u vidu kvalitet, obim i naučni doprinos postignutih rezultata, Komisija pozitivno ocenjuje doktorsku disertaciju i predlaže Nastavno-naučnom veću Tehnološko-metalurškog fakulteta Univerziteta u Beogradu da prihvati ovaj Izveštaj i da ga zajedno sa podnetom doktorskom disertacijom mr Slavka Smiljanića da na uvid javnosti u zakonski predviđenom roku, kao i da, nakon završetka ove procedure, pozove kandidata na usmenu odbranu disertacije, pred Komisijom u istom sastavu.

U Beogradu, 21.01.2013.

ČLANOVI KOMISIJE:

1. Dr Dušan Antonović, red. prof., TMF Beograd

2. Dr Ivana Smičiklas, viši naučni saradnik, INN Vinča, Beograd

3. Dr Boris Lončar, van. prof., TMF, Beograd

4. Dr Aleksandra Perić-Grujić, van. prof., TMF Beograd

5. Dr Branko Đukić, van. prof., TF Zvornik
