

УНИВЕРЗИТЕТ У ИСТОЧНОМ САРАЈЕВУ
ТЕХНОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ
ЗВОРНИК

ИЗВЈЕШТАЈ О ОЦЈЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ

1. Датум и орган који је именовao Комисију:

27.04.2016. године., Наставно-научно вијеће Технолошког факултета, Универзитета у Источном Сарајеву

2. Састав Комисије:

- Др Божo Далмација, ред. проф., ментор, „Хемија, Хемијска технологија и заштита околине“, Природно-математички факултет Нови Сад, Универзитет у Новом Саду,
- Др Миладин Глигорић, ред. проф., коментор, „Неорганска и нуклеарна хемија“, Технолошки факултет Зворник, Универзитет у Источном Сарајеву,
- Др Часлав Лачњевац, ред. проф., члан, „Општа и неорганска хемија“, Пољопривредни факултет Београд, Универзитет у Београду

II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ

1. Име, име једног родитеља, презиме:

Александар (Душан) Дошић

2. Датум рођења, општина, држава:

17.01.1975., Тузла, БиХ

3. Датум одбране, мјесто и назив магистарске тезе:

13.03.2012., Технолошки факултет Зворник,

„Солидификација и стабилизација токсичних метала у отпадном муљу јаловишта рудника „Сасе“ Сребреница“

4. Научна област из које је стечено академско звање магистра наука:

Неорганска хемија

III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

„Примјена неорганских имобилизационих агенаса у ремедијацији отпадног муља“

IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Историјат одобравања докторске дисертације:

- На XIII сједници ННВ-а Технолошког факултета Зворник, од 01.02.2013. године, прихваћен је Захтјев бр. 56/13 за пријаву теме докторске дисертације кандидата мр Александра Дошића (Одлука бр. 120/2013 МГ/СВ.);

- На XIV сједници ННВ ТФ Зворник, од 01.03.2013. године усвојен је Извјештај Комисије бр. 214/13 о оцјени подобности теме за израду докторске дисертације кандидата мр Александра Дошића и именован ментор др Божо Далмација, ред.проф. и коментор др Миладин Глигорић, ред.проф., (Одлука бр. 325/2013 МГ/СВ);
- Сенат Универзитета у Источном Сарајеву на XVIII сједници од 04.04.2013. године донио је Одлуку бр. 01-С-62-XVIII/13 о прихватању Извјештаја Комисије о оцјени подобности теме и кандидата;
- ННВ ТФ Зворник на LV сједници, од 27.04.2016.год., формирало је Комисију за преглед, оцјену и одбрану урађене докторске дисертације (Одлука бр. 750/2016 МГ/СВ).

Општи подаци о докторском раду

Докторска дисертација мр Александра Дошића написана је на 138 страна А4 формата, садржи 89 слике, 28 табела и 165 литературних навода. На почетку је дат кратак приказ рада на српском и енглеском језику. Докторски рад је прегледно и јасно написан и изложен кроз сљедећа поглавља: Увод, Општи дио, Експериментални дио, Резултати и дискусија, Закључци, Литература. Систематски су обрађена сва поглавља везана за предмет и значај истраживања.

Приказ и анализа докторског рада

УВОД. У уводном дијелу дисертације кандидат је дао основне проблеме кориштења неорганских имобилизационих агенаса у стабилизацији јаловине која потиче од прераде руде. Дефинисан је предмет докторске дисертације са назнаком да се токсични/тешки метали, који се налазе у отпадном муљу јаловишта, имобилишу компактирањем са различитим неорганским имобилазационим агенсима у монолите различитих пропорција, као и начин одређивања њихове ефикасности у зависности од бројних фактора. Циљ истраживања је да се токсични метали, који се налазе у отпадном муљу јаловишта рудника олова и цинка „Сасе“ Сребреница, имобилишу компактирањем са различитим имобилазационим агенсима (црвени муљ, лебдећи пепео и аутохтона глина), а да се одређивање њихове ефикасности прати у зависности од бројних физичко-хемијских фактора.

Истраживања су била усмјерена у два правца:

- дефинисање и боље разумјевање понашања метала у стабилизационој јаловини рудника и одређивање њихове потенцијалне мобилности, биодоступност и потенцијалне токсичности на основу метода секвенцијалне екстракционе процедуре, симултано екстрахованих метала у нетретираним и третираним узорцима јаловине, и
- одређивање ефикасности коришћења неорганских агенаса за имобилизацију метала у јаловини рудника из третираних смјеша коришћењем тзв. тестова „излуживања“ као и дефинисање доминантног механизма излуживања који омогућава транспорт метала. Извршена је микро-структурална анализу одабраних С/С смјеша, како би се одредила морфологија и идентификовале настале хемијске компоненте у третираним С/С смјешама.

ОПШТИ ДИО. У општем дијелу је приказана веза са досадашњим истраживањима. Приказано је да су се истраживања базирала на досадашњим научним резултатима о релевантним параметрима процеса стабилизације и солидификације разних муљева јаловишта загађених токсичним супстанцама, неорганског поријекла. Истраживања која су извршена у оквиру ове дисертације су усмјерена на дефинисање оптималних неорганских имобилизационих агенаса и физичко-хемијских параметара у сврху добијања што стабилнијег отпада, који ће се касније употријебити.

У општем дијелу кандидат је дефинисао да ће се ефикасност имобилизационих поступака пратити коришћењем тзв. тестова излуживања, односно одређивањем концентрације метала који су у току одређеног времена из имобилисане фазе прешли у мобилну фазу гдје се сматрају потенцијално опасним и биодоступним. Тестови излуживања се употребљавају широм свијета да би

се одредила концентрација контаминаната који су присутни у С/С отпаду и њихова вјероватна мобилност. Услови под којима се ови тестови изводе могу бити модификовани да би се процјенили параметри који утичу на излуживање у животној средини и да би се процјениле карактеристике С/С отпада при реалним условима у животној средини и њихово варирање кроз вријеме. Крајњи циљ сваког теста излуживања је могућност процјене опција ремедијације и уопште могућности ремедијације у циљу задовољења законских мјера. Тестови излуживања би генерално требало да опонашају услове на терену што више је могуће. Такође, тестове излуживања требало би спроводити тако да их је што лакше контролисати и модификовати. Важно је напоменути да у природним условима постоји велики број фактора који утичу на способност излуживања материјала. Ипак, мора се узети у обзир да тестови у лабораторији не могу у потпуности опонашати реалне услове.

На основу ових тестова и односа кумулативне фракције метала која је ослобођена из имобилизационе смјеше и времена одређен је тип механизма излуживања токсичних/тешких метала. То омогућује моделовање понашања метала у смислу дугорочног излуживања из третиране јаловине али и одређивање одређених параметара који могу послужити за оцјену ефикасности претходно примјење солидификације/стабилизације и мобилности тешких метала у јаловини рудника. Пратио се и утицај различитих фактора околине на степен излуживања тешких метала кориштењем различитих типова раствора (хуминских материја, "имитација" киселих киша).

Кандидат је у овом дијелу, јасно, предочио законску регулативу која прати ову проблематику. Темељно је предочио свјетску, као и актуелну регулативу у Републици Српској.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДИО. У изради докторске дисертације кандидат је користио стандардне и савремене истраживачке методе. Описао је кориштене материјале и методе/технике које користио у истраживању. План истраживања ове дисертације садржи:

- процјену токсичности/биодоступности метала у почетном узорку муља и С/С смјешама на основу секвенцијалне екстракционе процедуре;
- оцену дугорочног степена излуживања метала из третираних смјеша, одређивањем коефицијента дифузије (D_e);
- оцјену ефикасности третмана који има за циљ имобилизацију метала у јаловини на основу одређених фактора (кумулативне фракције метала, LX индекс излужљивости);
- поређење излужених концентрација метала из С/С смјеша примјеном тестова излуживања са једном екстракцијом и поређење резултата са максимално дозвољеним концентрацијама актуелних правилника;
- одређивање главног механизма излуживања (спирање, дифузија, растварање);
- микро-структурну анализу одабраних С/С смјеша, како би се одредила морфологија и идентификација насталих хемијских компоненти у третираним С/С смјешама.

Одређен је укупни садржај метала у полазним узорцима након микроталасне дигестије. Резултати су добијени ААС техником (атомском апсорпционом спектрометријом). Потом је истраживана могућност имобилизације метала (Pb, Zn, Cu, Cr, As, Cd, Ni) из контаминаног муља јаловишта рудника олова и цинка Сасе Сребреница стабилизацијом и солидификацијом.

Ефикасност поступка имобилизације је праћена кориштењем различитих тестова излуживања. Вршено је одређивање ефикасности примјењених имобилизационих агенаса у С/С третману примјеном семи-динамичког ANS 16.1 теста излуживања. Такође су одређени и параметри (коефицијенти дифузије, индекси излуживања) који ће послужити за оцјену ефикасности претходно примјењених имобилизационих агенаса. Примјењени су и модификовани BCR тестови излуживања са циљем што боље симулације реалних услова. У модификованим BCR тестовима излуживања коришћен је раствор сирћетне киселине са рН 3,25 да би се симулирали услови који опонашају киселе кише, односно услове у реалном систему. Коришћен је и раствор хуминских материја са циљем симулације услова великог органског оптерећења до којег би могло доћи у случају

акцидентних ситуација (на примјер поплава) и генерално услова који се стварају у природи при распадању органског материјала (лишће, трава, итд.).

Коришћењем модификоване секвенцијалне екстракционе процедуре и различитих тестова излуживања: Стандардни њемачки тест излуживања DIN 3841-4 S4, Characteristic Leaching Procedure TCLP i Mine Water Leaching Procedure MWLP испитано је излуживање метала из солидификованих смјеша, као мјерило ефикасности процеса стабилизације, и утврђене су предности и ограничења различитих тестова као средстава за предвиђање понашања контаминаната. Вршено је одређивање доминантног механизма излуживања метала који описују њихов транспорт из добијених солидификата.

Извршена је микро-структурална анализа одабраних С/С смјеша. Кориштена је рендгенска дифракциона анализа XRD и SEM анализа (скенирајућим електронским микроскопом) стабилизоване/солидификоване јаловине, како би се одредила морфологија и идентификовале настале хемијске компоненте у третираним С/С смјешама.

РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА. Хемијска анализа псеудо-укупног садржаја метала у почетном узорку јаловине указују да концентрације Pb, Cu и Zn у значајној мјери прелазе граничне вриједности према EPA 658/09 директиви и према Department of Environment, Climate Change and Water NSW (2009), док вриједности за Cd и As прелазе граничне вриједности према EPA 658/09 директиви, али су испод граничних вриједности за класификацију отпада према Department of Environment, Climate Change and Water NSW (2009). Садржај Ni је занемарљив, јер је испод граничних вриједности по EPA 658/09 директиви. У процјени биодоступности метала у почетним узорцима јаловине рудника Сасе долази се до закључка да су највеће концентрације Pb и Zn. При рачунању процената биодоступне фракције види се да метали иду сљедећим редосљедом: Cr > Pb > Ni > Zn > As > Cd > Cu за јаловину рудника Сасе.

У случају псеудо-укупног садржаја метала у смјешама јаловине са имобилизационим агенсима, може се уочити смањење концентрације метала са повећањем удјела имобилизационог агенса у третираним узорцима. У свим третираним узорцима, вриједности за Pb и Zn у значајној мјери прелазе граничне вриједности према EPA 658/09 (2009) и према Директиви за класификацију отпада (2009). Вриједности за Ni, Cd и As прелазе вриједности према EPA 658/09 (2009), али задовољавају граничне вриједности према Директиви за класификацију отпада (2009). Такође концентрација Cu и Cr се налазе у мањим концентрацијама него што су препоручене граничне вриједности за њих од стране све три директиве.

Приликом С/С третмана са глином, лебдећим пепелом и црвеним муљем указују да при додатку 5% глине, 10% лебдећег пепела и 20% црвеног муља у смјеши опада мобилност метала (Cr, Ni, As, Pb, Zn, Ni и Cd). Мобилност Cd опада у сва три раствора за излуживање при додатку 5% глине, 20% лебдећег пепела и 10% црвеног муља. Смјеша јаловине са глином, лебдећим пепелом и црвеним муљем се показала као добар имобилизациони агенс са аспекта Zn, Cu, As и Cd. За разлику од њих Cr, Ni и Pb су се излужили у значајној мјери, услед чега не задовољавају прописане вриједности регулатива за инертан отпад. Средње вриједности коефицијената дифузије за третиране узорке су се кретале од $1,03 \cdot 10^{-7} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ до $9,58 \cdot 10^{-9} \text{ cm}^2 \text{ s}^{-1}$ и сви метали су умјерено мобилни. Уколико користимо индекс излужљивости (LX) као критеријум за коришћење и одлагање третираног отпада, поједине смјеше за Zn и As могу да се користе за даљу употребу, а остале смјеше за ова два метала имају средње LX вриједности веће од 8 и могу се безбједно одлагати на депоније. Са аспекта Cu и Cd резултати показују да све смјеше апсолутно не задовољавају овај критеријум и сматрају се неадекватним за одлагање. У случају Cr, Ni и Pb све смјеше у сва три раствора за излуживање се могу безбједно одлагати на депонију.

На основу резултата модификоване BCR секвенцијалне екстракционе процедуре одређен је потенцијални ризик метала за околину за нетретирану и третирану јаловину. Одређена је и ефикасност различитих имобилизационих агенаса у C/C третману за метале у јаловини и доминантан механизам излуживања из третираних смјеша. Упоредивањем резултата са резултатима секвенцијалне екстракције метала, може се примјетити да се значајно повећао удио свих метала осим Ni и Cd у резидуалној фази те са аспекта Cu, Zn, Pb, As и Cr они представљају хемијски стабилне метале, па тако представљају најмању опасност за животну средину.

Узорци тестирани DIN процедуром показују да се као неопасан отпад се могу сматрати смјеше стабилизоване само са црвеним муљем и смјешом глине и црвеног муља. Закључено је да се отпад третиран на овакав начин може одлагати на депоније због тога што се све смјеше са аспекта свих метала могу сматрати неопасним отпадом према параметрима за испитивање токсичних карактеристика отпада намењеног одлагању прописаних Правилником о категоријама, испитивању и класификацији отпада (*Службени гласник Републике Српске, бр. 19/2015*).

Сви узорци тестирани TCLP процедуром задовољили су критеријуме регулисане TCLP тестом у погледу концентрација метала регулисаних TCLP процедуром и налазе се испод граничних вриједности прописаних поменутих Правилником, осим смјеше G5F30J65 (G % глине, F % пепела, J % јаловине) за Cd и смјеше G5F10J85, G5F20J75 и G5F30J65 за Pb које се налазе изнад граничних вриједности.

Узорци тестирани MWLP процедуром показују да су све смјеше са аспекта концентрација свих метала биле испод граничних вредности прописаних параметрима за испитивање токсичних карактеристика отпада намењеног одлагању у Правилнику о категоријама, испитивању и класификацији отпада Републике Српске.

ЗАКЉУЧЦИ. Истраживања су показала да је техника солидификације и стабилизације јаловине из рудника олова и цинка Сасе, Сребреница помоћу лебдећег пепела, глине, црвеног муља и комбинације имобилизационих агенаса имала генерално успјешне резултате за већину метала на основу којих можемо видјети да се кориштени имобилизациони агенси могу користити у погледу рјешавања проблема јаловине која је загађена металима. На основу добијених резултата, оптимални агенси за имобилизацију метала у јаловини су смјеша глине и црвеног муља (5% глине и 10% црвеног муља) и такође смјеша глине и црвеног муља (5% глине и 30% црвеног муља). Ове двије смјеше се могу сматрати неопасним отпадом по свим испитиваним критеријумима.

Доминантан механизам излуживања за већину метала Cr, Cu, As, Cd је дифузија. Са аспекта цинка долази се до закључка да је главни механизам излуживања растварање када је средство за излуживање дејонизована вода и хуминска киселина, а када се користи сирћетна киселина за излуживање дифузија је доминантан механизам излуживања. За олово површинско спирање доминантан механизам излуживања, до кога долази у иницијалној фази експеримента. За никл је спирање доминантан механизам излуживања, осим када се сирћетна киселина користи за излуживање када дифузија постаје механизам излуживања.

Морфолошка структура стабиловано/солидификованих смјеша је извршена XRD и SEM анализама како би се идентификовала настала хемиска једињења. Утврђена је густа микроструктура са хидратационим продуктима, калцијум силикат хидратом (C-S-H), калцијум алуминат хидратом (C-A-H).

У спроведеном истраживању по први пут је за поједине смјеше јаловине и имобилизационих агенаса (лебдећи пепео; црвени муљ; глина и лебдећи пепео; глина и црвени муљ; лебдећи пепео и црвени муљ; глина, лебдећи и црвени муљ) примјењен семи-динамички тест излуживања како у основном тако и у модификованом облику (када је као раствор за излуживање коришћен раствор хуминских киселина и раствор сирћетне киселине рН 3,25). Коришћењем овог теста омогућено је добијање података о дугорочном излуживању, тј. понашању метала у природним условима, али и у условима који опонашају акцидентне ситуације (киселе кише, високо органско оптерећење, итд.).

Резултати добијени симулацијом ових услова ће даље омогућити моделовање понашања метала у смислу дугорочног "излуживања" из третиране јаловине као и процјену најефикаснијих агенаса за имобилизацију различитих метала у јаловини. Ови резултати се могу употребити за пројектовање и изградњу пилот постројења на коме би се испитала ефикасност ових агенаса за ремедијацију јаловине у реалним условима.

ЛИТЕРАТУРА. У писању овог рада кандидат је користио 165 референци, релевантних за област истраживања, која је предмет докторске дисертације. Исте су на правилан начин цитиране.

V ЗНАЧАЈ И ДОПРИНОС ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ СА СТАНОВИШТА АКТУЕЛНОГ СТАЊА У ОДРЕЂЕНОЈ НАУЧНОЈ ОБЛАСТИ

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације имају научни и апликативни значај. Квалитет отпадног муља је важна компонента у програмима заштите и контроле квалитета воде и земљишта. Оцјена његовог квалитета обухвата физичко-хемијску карактеризацију и тестове токсичности. Растућа свијест о загађењу воде и земљишта и пратећи високи трошкови поступка пречишћавања, указали су да је превенција јефтинија од санације.

Тема докторске дисертације, примјена неорганских имобилизационих агенаса у стабилизацији рударских муљева, је данас веома актуелна. У спроведеном истраживању по први пут је за поједине смјеше јаловине и имобилизационих агенаса (лебдећи пепео; црвени муљ; глина и лебдећи пепео; глина и црвени муљ; лебдећи пепео и црвени муљ; глина, лебдећи и црвени муљ) примјењен семи-динамички тест излуживања како у основном тако и у модификованом облику (када је као раствор за излуживање коришћена дејонизована вода, сирћетна и хуминских киселина. Коришћењем овог теста омогућено је добијање података о дугорочном излуживању, тј. понашању метала у природним условима, али и у условима који опонашају акцидентне ситуације (киселе кише, високо органско оптерећење, итд.).

Проблем квалитета муља са јаловишта је уско повезан са квалитетом воде и земљишта и представља комплексну синтезу процеса и фактора. Ови полутанти могу утицати неповољно на живи свијет кроз ланац исхране, путем воде или директног контакта. Такође, јаловина може утицати на квалитет подземних вода што представља посебан проблем јер се иста највише користи као ресурс за пиће. Одлагањем отпадног муља са јаловишта на земљиште може бити оптерећено значајним количинама тешких метала. Из тог разлога проналажење нових и усавршавање постојећих техника пречишћавања јаловине је од великог значаја. Метали представљају опасност за седимент, акватичне екосистеме али и за човјека због изражене тенденције инкорпорације у седимент, токсичности и способности биоакмулације. Токсични метали представљају један од основних контаминаната отпадног муља и неопходно је извршити њихов третман.

Процеси и технике стабилизације и солидификације су се развили у важан дио технологије животне средине. Ова технологија, која укључује мјешале индустриског отпада са другим индустријским отпадом (јаловина рудника, лебдећи пепео, црвени муљ) данас је веома актуелна и у сталном развијању. Везивни материјал реагује хемијски са водом из материјала који је третиран, изазивајући промјене у физичким и хемијским особинама и стабилизује штетне конституенте и тако спрјечава њихов даљи транспорт у животној средини. Обично је главни циљ солидификације да се отпад претвори у облик који је лакши за руковање и одлагање, уз истовремено минимизирање штетног потенцијала смањивањем површине отпада која је у контакту са животном средином. Сем тога, солидификован отпад смањује ризик од расипања честица отпада током руковања, чувања, транспорта и одлагања и самим тим повећава безбједност како радника који долазе у контакт са отпадом тако и безбједност животне средине.

VI ОЦЈЕНА ДА ЈЕ УРАЂЕНА ДОКТОРСКА ДИСЕРТАЦИЈА РЕЗУЛТАТ ОРИГИНАЛНОГ НАУЧНОГ РАДА КАНДИДАТА У ОДГОВАРАЈУЋОЈ НАУЧНОЈ ОБЛАСТИ

Докторска дисертација мр Александра Дошића даје научни допринос у области проучавања примјењене Неорганске хемије у области заштите животне средине. Дат је научни допринос сазнањима понашања неорганских имобилизационих агенаса у мјешавинама са јаловином из рудника. Научни допринос огледа се и у дефинисању оптималних количина и врста имобилизационих агенаса, по први пут коришћеним семи-димаичким и сингл тестовима излуживања са овим материјалима, дефинисањем оптималних параметара праћења ефикасности ових поступака, одређивањем механизма излуживања токсичних/тешких метала из солидификата и идентификацијом хемијских врста и морфолошке структуре добијених солидификата.

Кандидат мр Александар Дошић је успјешно и у цјелости обавио истраживања, која су предвиђена планом у пријави ове докторске дисертације. Добијени резултати проистекли из ових истраживања су презентовани прегледно, са логичним редосљедом и илустровани са одговарајућим прилозима, сликама и табелама. Резултате истраживања кандидат је јасно и прецизно тумачио, у складу са најновијим научним сазнањима у области примјењене неорганске хемије.

Комисија закључује, да приказ и тумачење резултата истраживања у цјелини задовољава критеријуме научног приступа тумачења резултата истраживања.

VII ПРЕГЛЕД ОСТВАРЕНИХ РЕЗУЛТАТА РАДА КАНДИДАТА У ОДРЕЂЕНОЈ НАУЧНОЈ ОБЛАСТИ

Кандидат мр Александар Дошић је у изради ове дисертације користио савремене принципе научног рада, неопходну стручност, умјешност и критичност у проучавању, истраживању и тумачењу резултата добијених истраживањем.

Кандидат је на основу резултата истраживања у оквиру докторске дисертације приказао остварене резултате рада у одређеној научној области путем објављених радова у међународним часописима и реферисања на научним скуповима:

1. **Aleksandar Došić**, Dragana Tomašević, Milena Dalmacija, Božo Dalmacija, Đurđa Kerkez, Milena Bečelić-Tomin, Srđan Rončević, "Stabilisation of waste sludge from mine tailing", The 45th International October Conference on Mining and Metallurgy, Bor, Serbia 2013.
2. **Александар Дошић**, Божо Далмација, Миладин Глигорић, Драгана Томашевић-Пилиповић, Дуња Рађеновић, "Ефикасност неорганских имобилизационих агенаса у стабилизацији отпадних муљева рудника", Заштита материјала, Београд, Р. Србија, 2016.
3. **Aleksandar Došić**, Dragana Tomašević Pilipović, Miladin Gligorić, Božo Dalmacija, Đurđa Kerkez, Nataša Slijerčević, Jelena Spasojević, "Green remediation of tailings from the mine using inorganic agents", Chemical Industry, Belgrade, Serbia, рад прихваћен за штампу.

VIII ОЦЈЕНА О ИСПУЊЕНОСТИ ОБИМА И КВАЛИТЕТА У ОДНОСУ НА ПРИЈАВЉЕНУ ТЕМУ

Кандидат мр Александар Дошић је докторску дисертацију урадио у потпуности у складу са образложењем наведеним у пријави теме. Према обиму докторска дисертација је написана на 138 страна А4 формата, садржи 89 слике, 28 табела, и 165 литературних навода. Систематски су обрађена сва поглавља везана за предмет и значај истраживања. Дати су циљеви израде докторске

дисертације. Дат је преглед стања у подручју истраживања код нас и у свијету са изнесеним подацима везаним за претходна истраживања у примјени неорганичних имобилизационих агенаса у циљу стабилизације јаловишта рудника. Кандидат је истражио неопходан обим почетних узорака, примјенио одговарајуће неорганичне имобилизационе агенасе и користио стандардизоване тестове излуживања. Приказао је методе истраживања и инструменте који су коришћени за анализирање почетних узорака и крајњих солидификата. Представио је потребне параметре за стабилизовану/солидификовану јаловину. Стручно и у складу са саврменим научним достигнућима презентовао је резултате истраживања. Докторска дисертација садржи све битне елементе за овакав облик научно-истраживачког рада.

IX НАУЧНИ РЕЗУЛТАТИ ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

На основу резултата истраживања у оквиру докторске дисертације кандидат је дошао до одређених научних резултата.

Резултати С/С третмана за јаловину са лебдећим пепелом указују да са порастом удјела лебдећег пепела у смјеси мобилност метала опада. Без обзира на концентрацију метала у јаловини тек након 50% удјела лебдећег пепела у већини смјеша се смањује проценат излужених метала, независно који је раствор за излуживање у питању. Смјеша јаловине са лебдећим пепелом се показала као добар имобилизациони агенс за поједине метале као што су Cu, Cr, Cd, Ni и Zn. У погледу As, добијене вриједности не задовољавају вриједности концентрација које за отпад прописује Европска Унија (2003/33/EC), док вриједности за Pb прелазе све прописане вриједности за обе регулативе. Коефицијенти дифузије метала из стабилованих смјеша указују да су сви метали у сва три раствора за излуживање умјерено мобилни са коефицијентом дифузије у распону од $1,01E-07 \text{ cm}^2/\text{s}$ до $9,89E-09 \text{ cm}^2/\text{s}$. Ако ефикасност третмана посматрамо са аспекта LX вриједности, третман се може сматрати успјешним у случају Cr и Zn за поједине смјеше чија је вредност већа од 9 услед чега се јаловина може користити за контролисану употребу. Са аспекта Ni, As и Pb јаловина се може безбједно одлагати на депонију, док добијене вриједности за Cu и Cd указују да је јаловина неадекватна за одлагање са аспекта ова два метала.

У С/С третираним смјешама јаловине са црвеним муљем се може уочити смањење мобилности метала са повећањем процента додатог црвеног муља. Смјеша јаловине и црвеног муља се показала као добар имобилизациони агенс са аспекта Cd, Ni, Cu, As и Zn. Cr и Pb су се излужили у значајној мјери, услед чега не задовољавају прописане вриједности. Средње вриједности коефицијената дифузије за третиране узорке су се кретале од $1,07E-07 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ до $2,30E-10 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ што указује да су сви метали умјерено мобилни. Уколико користимо средње вриједности индекса излуживања LX као критеријум за коришћење и одлагање третираног отпада уочавамо да су вриједности за Zn, As и Cr у већини смјеша веће од 9, што значи да се јаловина може користити за даљу употребу. Са аспекта Ni и Pb јаловина се може безбједно одлагати на депоније, док вриједности за Cu и Cd не задовољавају ове вриједности.

Комбинацијом имобилизационих агенаса глине и лебдећег пепела за третман јаловине, такође се уочава да са повећањем садржаја лебдећег пепела долази до смањења мобилности метала, као што су Cr, Ni и Cu, док код осталих метала (As, Pb, Zn и Cd) долази до одступања. Смјеша јаловине са глином и лебдећим пепелом се генерално показала као добар имобилизациони агенс са аспекта Cr, Ni, Cu, Cd и Zn. За As добијене вриједности не задовољавају вриједности концентрација које за отпад прописује Европска Унија (2003/33/EC), док за Pb прелазе већину прописаних вриједности за обје регулативе. Средње вриједности коефицијената дифузије за третиране узорке су се кретале од $1,08E-07 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ до $5,96E-09 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ што указује да су сви метали умјерено мобилни. Ако ефикасност третмана посматрамо са аспекта LX вриједности, третман се може сматрати успјешним у случају Zn гдје су вриједности за неке смјеше веће од 9 што значи да се јаловина може користити за даљу

употребу. Са аспекта Cr, As и Pb јаловина се може безбједно одлагати на депоније, док вриједности за Cu и Cd не задовољавају ове вриједности, као и у случају Ni за смјеше у дејонизованој води. У сирћетној и хуминској киселини вриједности се крећу између 8 и 9, па се јаловина може безбједно одлагати на депоније.

У третману јаловине са глином и црвеним муљем се може уочити смањење мобилности метала (Cr, Ni, As, Pb и Zn) са повећањем процента додатог црвеног муља, док код Cu и Cd долази до одступања. Смјеша јаловине са глином и црвеним муљем се показала као веома добар имобилизациони агенс за све метале. У погледу As смјеша са најмање имобилизационог агенса у дејонизованој води, као и смјеше са најмање и највише имобилизационог агенса у хуминској киселини спадају у инертан отпад. Средње вриједности коефицијената дифузије за третиране узорке су се кретале од $1,01E-07 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ до $9,24E-10 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ што значи да су сви метали умјерено мобилни. Третман контаминиране јаловине са глином и црвеним муљем са аспекта LX вриједности сматра се ефикасним у погледу As, Cr и Ni за поједине смјеше где су LX вриједности веће од 9, па се такве смјеше могу користити за даљу употребу, а остале смјеше за ова три метала се могу безбједно одлагати на депоније. Резултати Cu и Cd показују да све смјеше апсолутно не задовољавају овај критеријум и сматрају се неадекватним за одлагање. У случају Zn и Pb са аспекта LX вриједности, све смјеше у сва три раствора за излуживање се могу безбједно одлагати на депонију.

При третману јаловне са лебдећим пепелом и црвеним муљем указују да са порастом удјела црвеног муља у смјеши опада мобилност метала (Cr, Ni, Cu, Zn и Cd) док код As и Pb долази до одступања. Смјеша јаловине са лебдећим пепелом и црвеним муљем се показала као добар имобилизациони агенс за Cr, Ni, Cu, As, Cd и Zn, јер вриједности не прелазе прописане вриједности регулатива са којима су поређене. У погледу Pb све смјеше у сва три раствора за излуживање не задовољавају концентрације које за отпад прописује Европска Унија (2003/33/EC) и представљају опасан отпад. Средње вриједности коефицијената дифузије за третиране узорке су се кретале од $1,10E-07 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ до $9,79E-09 \text{ cm}^2\text{s}^{-1}$ што значи да су сви метали умјерено мобилни. Ако ефикасност третмана посматрамо са аспекта LX вриједности, третман се може сматрати успјешним у случају Zn, Ni и As за поједине смјеше јер имају средње LX вриједности преко 9, па се третман за те смјеше сматра успјешним и могу се користити за контролисану употребу. Остале смјеше за ова три метала се могу безбједно одлагати на депоније. Такође, све смјеше за Cr и Pb у сва три раствора за излуживање се могу безбједно одлагати на депоније. Са аспекта Cu и Cd све смјеше у свим растворима за излуживање не задовољавају овај критеријум и сматрају се неадекватним за одлагање.

Морфологија сировог узорка муља и одабраних C/C смјеша муља са различитим имобилизационим агенсима је одређена након 28 дана старења. Рендгенска дифракциона анализа стабилизоване/солидификоване јаловине је показала да се формирала позоланска структура у току 28 дана колико је трајала стабилизација. Калцијум силикат хидрат (C-S-H) и калцијум хидроксид силикат (C-H-S) били су главни производи који су идентификовани. Поред тога, идентификован је вишак калцијум хидроксида $\text{Ca}(\text{OH})_2$, указујући да позоланске реакције нису завршене у периоду стабилизације од 28 дана, и да још трају у правцу настајања позоланских производа, што ће као резултат имати још бољу имобилизацију токсичних метала у структуру солидификата. Исто тако, идентификован је и калцијум алуминијум хидрат (C-A-H, еtringит $\text{Ca}_6\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3(\text{OH})_{12}\cdot 32\text{H}_2\text{O}$). Сулфатно присуство у матрици лебдећег пепела је омогућило формирање еtringита. SEM резултати приказаних C/C смјеша указују на густу микроструктуру са хидратационим производима, калцијум силикат хидратом (C-S-H), калцијум алуминат хидратом (C-A-H), флокуле налик гелу, и калцијум хидроксидом кристали влакнастог (штапићастиг) облика. Игличасти еtringит је највише присутан у узорцима са црвеним муљем као имобилизатором.

X ПРИМЈЕЊИВОСТ И КОРИСНОСТ РЕЗУЛТАТА У ТЕОРИЈИ И ПРАКСИ

Ова докторска дисертација представља значајан и оригиналан научни и стручни допринос у области проучавања имобилизације токсичних метала из јаловишта рудника коришћењем неорганских имобилизационих агенаса. Заштита животне околине, гла, подземних и површинских вода од загађења је једана од најбитнијих обавеза човјечанства јер "чисте воде за пиће" је све мање, а загађивача свакодневно све више. Добијени резултати истраживања се и практично могу примјенити на јаловиштима рудника. Кандидат ће резултате свога научног рада јавно презентовати научној јавности путем презентације урађене у Power Pointу на више од 40 страна.

XI ОЦЈЕНА И ЗАКЉУЧЦИ

Докторска дисертација кандидата мр Александра Дошића, дипломираног инжењера технологије, урађена је у складу са циљевима и задацима који су постављеним у пријави тезе. У изради ове дисертације кандидат је користио савремене принципе научног рада, умјешност и критичност у проучавању, истраживању и тумачењу резултата добијених истраживањем. Рад је јасно конципиран, сажет и експлицитан. Добијени резултати су резултат оригиналног рада и они су правилно и научно објашњени, па овај докторски рад представља допринос научном раду у области неорганске хемије. Докторска дисертација нема недостатака који би утицали на њену коначну вриједност.

На основу свега изложеног Комисија позитивно оцјењује урађену докторску дисертацију кандидата **мр Александра Дошића**, под насловом „**Примјена неорганских имобилизационих агенаса у ремедијацији отпадног муља**“ и предлаже Наставно-научном вијећу Технолошког факултета Универзитета у Источном Сарајеву да прихвати ову оцјену и омогући кандидату да докторски рад под наведеним насловом јавно брани.

Зворник, 05.05.2016. год.

ПОТПИСИ ЧЛАНОВА КОМИСИЈЕ:

Др Божо Далмација, ред. проф., ментор,
Природно-математички факултет Нови Сад, Универзитет у Новом Саду

Др Миладин Глигорић, ред. проф., коментор,
Технолошки факултет Зворник, Универзитет у Источном Сарајеву

Др Часлав Лачњевац, ред. проф., члан,
Пољопривредни факултет Београд, Универзитет у Београду