

УНИВЕРЗИТЕТ У ИСТОЧНОМ САРАЈЕВУ  
ТЕХНОЛОШКИ ФАКУЛТЕТ  
ЗВОРНИК

ИЗВЈЕШТАЈ О ОЦЈЕНИ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

**I ПОДАЦИ О КОМИСИЈИ**

1. Датум и орган који је именовео Комисију:

13.06.2019. године., Наставно-научно вијеће Технолошког факултета, Универзитета у Источном Сарајеву

2. Састав Комисије:

- **Др Славко Смиљанић, ванр. проф., ментор**, „Друга инжењерства и технологије“, Технолошки факултет Зворник, Универзитет у Источном Сарајеву,
- **Др Миладин Глигорић, ред. проф., коментор**, „Неорганска и нуклеарна хемија“, Технолошки факултет Зворник, Универзитет у Источном Сарајеву,
- **Др Драган Повреновић, ред. проф., члан**, „Инжињерство заштите животне средине“, Технолошко-металуршки факултет Београд, Универзитет у Београду,
- **Др Јован Ђуковић, проф. емеритус, члан**, „Еколошко инжењерство“, Технолошки факултет Зворник, Универзитет у Источном Сарајеву,
- **Др Александар Дошић, доцент, члан**, „Неорганска и нуклеарна хемија“, Технолошки факултет Зворник, Универзитет у Источном Сарајеву.

**II ПОДАЦИ О КАНДИДАТУ**

1. Име, име једног родитеља, презиме:

Неда (Млађен) Тешан Томић

2. Датум рођења, општина, држава:

04.07.1982. Сарајево (Центар), БиХ

3. Датум одбране, мјесто и назив магистарске тезе:

25.04.2014., Технолошки факултет Зворник,

**„Анализа стања физичко-хемијских параметара ријеке Босне на подручју града Сарајева“**

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

Инжењерство и технологија, остала инжењерства и технологије, друга инжењерства и технологије

**III НАСЛОВ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ**

**„Истраживање утицаја уништавања муниције и минско-експлозивних средстава на присуство и мобилност тешких метала у земљишту“**

## IV ПРЕГЛЕД ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Историјат одобравања докторске дисертације:

- На 43. сједници ННВ-а Технолошког факултета Зворник, од 25.06.2015. године, прихваћен је Захтјев бр. 1104/15 за израду теме докторске дисертације кандидата мр Неде Тешан Томић (Одлука бр. 1175/2015 МГ/СВ.);
- На сједници ННВ ТФ Зворник, од 06.11.2015. године усвојен је Извјештај Комисије бр. 2026/15 о оцјени подобности теме за израду докторске дисертације кандидата мр Неде Тешан Томић
- ННВ ТФ Зворник на сједници, од 12.06.2019.год., формирало је Комисију за преглед, оцјену и одбрану урађене докторске дисертације (Одлука бр. 960/2019 МГ/СВ).

### Општи подаци о докторском раду

Докторска дисертација мр Неде Тешан Томић написана је на 123 стране А4 формата, садржи 53 слике, 33 табеле, 2 прилога и 280 литературних навода. На почетку дисертације је дат резиме рада на српском и енглеском језику, списак табела, списак слика и номенклатура. Докторски рад је прегледно и јасно написан и изложен кроз сљедећа поглавља: Увод, Теоријски дио, Експериментални дио, Резултати и дискусија, Закључци, Литература, Прилози. Сва поглавља везана за предмет и значај истраживања обрађена су систематски, квалитетно и јасно.

### Приказ и анализа докторског рада

**УВОД.** У уводном дијелу дисертације кандидат је изнио основне проблеме дугогодишње употребе отвореног простора за процесе спаљивања и уништавања нестабилне муниције и минско-експлозивних средстава. Дефинисани су предмет и циљ докторске дисертације. Стављен је акценат на утврђивање поријекла и укупног оптерећења тешких метала на земљишту војног полигона Гламоч, на коме се проводе свакодневне активности уништавања муниције и минско-експлозивних средстава методом отворене детонације, као најнеповољнијом опцијом уништавања. Као основни циљ истраживања постављена је процјена укупног садржаја и форми испитиваних тешких метала у земљишту на коме се одвија директна детонација, као и околном подручју полупречника једног километра од центра уништавања.

**ТЕОРИЈСКИ ДИО.** У теоријском дијелу описани су поријекло и садржај тешких метала у земљишту, њихове особине и ризици по здравље, извори тешких метала на војним полигонима, њихова мобилност и начини везивања у земљишту, описане су методе и технике секвенцијалне екстракције. Поред тога, размотрене су методе процјене потенцијалног еколошког ризика и степен деградације земљишта преко различитих индекса загађења, те је описан значај мултивариационих статистичких метода у области истраживања. Дефинисано је да је специјација метала присутних у земљишту доста бољи индикатор квалитета земљишта у односу на укупни садржај тешких метала. У ту сврху, описана је примјењена метода Тессиер-а која је модификована у складу са процедуром Смичиклас и сарадници, и истакнута потврдила примјену методе код истраживања контаминираних површина. Приказан је значај и утицај гранулометријског састава и рН вриједности земљишта, на дистрибуцију тешких метала у земљишту. На основу литературних података потврђено је постојања великог безбједоносног ризика од нестабилних вишкова муниције и минско-експлозивних средстава и представљена је проблематика рјешавања муниције и МЕС-а како у БиХ тако и у многим другим земљама. Дат је општи преглед техника ремедијације за рјешавање питања еколошког загађења. Јасно је предочена законска регулатива која прати ову проблематику. На основу изложеног, јасно је да су у овом дијелу дефинисане теоријске поставке и успостављена њихова веза са истраживањима provedеним у оквиру експерименталног дијела рада.

**ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДИО.** У изради докторске дисертације кандидат је користио стандардне и савремене истраживачке методе. Методе и технике коришћене у истраживању су добро одабране и прецизно описане. Дат је попис кориштених материјала током извођења истраживања. Истраживање спроведено у оквиру ове дисертације је обухватало:

- Теренска истраживања која су обухватала: опис локације, рекогностицирање терена, избор репрезентативних локалитета, дефинисање локација за узорковање земљишта узимајући у обзир ружу вјетрова у зони контаминације у полупречнику до један километар уз употребу ГПС уређаја којим се дефинисало свако појединачно мјерно мјесто узорака и дате одговарајуће координате са надморским висинама и ознакама на терену. Узорковање земљишта и одабир одговарајућег шаблона за узорковање је извршено примјеном ISO 10381 стандарда за квалитет земљишта и узорковање. Изабран је шаблон системског узорковања на правилној мрежи, у складу са којим је већа густина узорака узета у подручју директне детонације (односно мјеста уништавања муниције и минско-експлозивних средстава), док се густина узорковања смањивала са удаљавањем од центра фугаса. Узорковано је укупно 267 појединачних узорака земљишта који су чинили 32 композитна узорка припремљена за лабораторију. Испитани су узорци у три зоне вертикалног профила (0-30цм; 30-60цм; 60-100цм) у подручју директне детонације и у околном узорку на удаљености 200м у правцу сјевероисток (SI200) и површински узорци (0-30 цм) у околном подручју на удаљености од 200 до 1000м од центра уништавања према свим странама свијета.
- Лабораторијска истраживања су обухватала: одређивање физичких и хемијских својстава узетих узорака земљишта. Од физичких својстава одређен је гранулометријски састав земљишта и рН земљишта, док од хемијских својстава одређени су псеудо укупни садржај и форме следећих тешких метала: Pb, Ni, Cu, Cd, и Zn.

Приликом извођења лабораторијских испитивања примјењене су следеће методе и опрема:

- Гранулометријски састав земљишта је одређен у складу са методом ISO/TS 17892-4, комбинована метода (метода сита и пипетирања). Текстура – текстурне класе земљишта: USDA класификација.
- рН вриједност земљишта је одређена према стандарду BAS ISO 10390:2009, у води (H<sub>2</sub>O) и у раствору 1М KCl.
- Хемијске анализе узорака земљишта су извршене кориштењем стандардних лабораториских метода за одређивање садржаја метала. Псеудо-укупни облик тешких метала одређен је по методи US EPA 3051A. Одређен је псеудо-укупни садржај метала у полазним узорцима након микроталасне дигестије.

За одређивање екстракцибилности тешких метала примјењена је *Тессиер* метода секвенцијалне екстракције која је модификована у складу са Смичиклас и сарадници. Примјењена савремена метода се састоји у раздвајању разматраних метала на 6 фракција: F<sub>0</sub>-водорастворљива, F<sub>1</sub> - измјењива/сорптивна, F<sub>2</sub> - специфично адсорбована/карбонатна, F<sub>3</sub> - жељезо-манган оксидна, F<sub>4</sub> - органска и F<sub>5</sub> - резидуална. На крају сваког интервала одвајане су течна и чврста фаза. Потом је у екстракту одређена концентрација метала, а чврста фаза је поново враћена у процедуру третирањем са јачим екстракционим средством.

За мјерење концентрације метала кориштен је систем индуковано спрегнуте плазме са оптичком емисионом спектрометријом (ICP-OES и CAP 6500 Duo).

За обезбјеђивање квалитета мјерења коришћени су сефтификовани референтни материјали SRM 029 и SRM 2711a. Слагање резултата за сертификоване и измјерене вриједности садржаја испитиваних метала биле су прихватљиве према EPA 200. Стандардни референтни материјали су такође анализирани поступком секвенцијалне екстракције и збир концентрација појединачних фракција био је у задовољавајућем проценту слагања са псеудо-укупном концентрацијом за сваки

појединачни метал.

## РЕЗУЛТАТИ И ДИСКУСИЈА.

Истраживања која су извршена у оквиру ове дисертације су усмјерена на процјену утицаја уништавања муниције и минско - експлозивних средстава на садржај тешких метала у земљишту фугаса и њихову дисперзију у околину након отворене детонације, како би се добио бољи увид у опасности које из тога произилазе. Посебан значај овог истраживања се огледа у одређивању форми у којима се метали налазе, што је од велике важности са аспекта њихове мобилности и уласка у ланац исхране. Процијењена је актуелна ситуација и дате су информације које ће помоћи приликом утврђивања мјера и радњи за спречавање ширења загађења и штетног дјеловања контаминираних површина. Утврђено стање на појединим мјерним профилима је добра смјерница за предузимање конкретних мјера, поступака и активности како би се спречила деградација, односно како би се побољшао квалитет земљишта разматраног подручја. Дат је општи преглед техника ремедијације за рјешавање питања еколошког загађења.

На основу одређеног гранулометријског састава, земљиште одговара категорији *прашкасто иловачасто земљиште*, а рН вриједност испитиваног земљишта је благо алкална у подручју фугаса, што је веома повољно са аспекта имобилизације метала. У појединим узорцима околног подручја утврђена је кисела реакција, што може имати негативан утицај са аспекта мобилности на истраживаном подручју, обзиром да поједини тешки метали прекорачују МДК и на том дијелу подручја.

Резултати одређивања псеудо-укупног облика тешких метала су показали значајно оптерећење  $Cu$  до 7 пута и  $Cd$  до 6 пута (осим на једном мјерно мјесту које је било у оквиру МДК) у односу на МДК прописане у складу са важећим прописима у БиХ. Максималне концентрације испитиваних метала пронађене у анализираним узорцима су износиле 6,1 мг/кг за  $Cd$ , 62 мг/кг за  $Pb$ , 91,6 мг/кг за  $Ni$ , 449 мг/кг за  $Cu$  и 275 мг/кг за  $Zn$ . У недостатку домаћих прописа, користећи као референтне прописе појединих земаља који прописују степен онечишћења земљишта, земљиште истраживаног подручја је класификовано као *средње загађено* са аспекта бакра, кадмија и никла, а *високо загађено* у односу на цинк. Међутим, када су у питању бакар и кадмијум, посматрајући појединачно испитиване позиције, генерално се може рећи да постоји значајан пад загађења у околном подручју у односу на подручје фугаса на којима је класификован знатно већи број позиција као *средње загађен* у односу на земљиште околног подручја, док за цинк и никл је примјећен исти тренд загађења и у подручју фугаса и у околном подручју. Олово је био једини метал чија је концентрација била унутар максимално дозвољене концентрације и према којем се земљиште класификовало као *незагађено* на цијелом истраживаном подручју. Примјеном прописа појединих земаља који прописују интервентне/ремедиационе вриједности за тешке метале, концентрације бакра и цинка на испитиваном подручју одговарају загађеном земљишту које представља еколошки ризик и захтијева санацију терена. Као погодна мјера за смањење утицаја тешких метала предложен је поступак фиторемедијације, као јефтине и еколошки прихватљиве методе.

Секвенцијална екстракција је метода која даје потпунију слику о тешким металима у земљишту, јер их раздваја у зависности од примјењене технике на неколико фракција. Из тог разлога она омогућава шире разматрање истраживаног подручја у односу на одређивање само укупног облика тешких метала. Резултати секвенцијалне екстракционе процедуре показују да је у свим узорцима узоркованим по дубини профила,  $Cd$  доминантно присутан у резидуалној (F5) (42 - 83%), затим оксидној (F3) (12 – 36%) и мобилним фракцијама (F1 и F2) (9 до 34%) у подручју фугаса и кратера што говори о антропогеном утицају,  $Zn$  је доминантно присутан у резидуалној (F5) (са преко 75%) и оксидној фракцији (F3) ( са просјеком од 10,80 – 19,50%), док  $Pb$  и  $Ni$  су доминантно присутни у резидуалној (F5) (са преко 58% за  $Pb$  и преко 85% за  $Ni$ ), затим оксидној (F3) (10 – 30% за  $Pb$  и 4 – 13% за  $Ni$  ) те органској фракцији (F4) (2-11% за  $Pb$  и 1,7-5,6 за  $Ni$  ).  $Cu$ , поред резидуалне (F5) (28-

92%), органске (F4) (3 – 50%) и оксидне фазе (F3) (0-37%), присутан је и у карбонатној фракцији (F2) у подручју фугаса и кратера (4,92 – 7,5%), док су Pb, Ni и Zn заступљени у веома малим количинама у мобилним и лако доступним фракцијама, што упућује на мању опасност ових елемената по животну средину.

Међутим, када су у питању узорци околног подручја, у кругу на удаљености од 200м до 1000м од централне тачке F1, резултати су показали да су сви анализирани тешки метали доминантно присутни у резидуалној фракцији (F5). Поред резидуалне фракције, Cd (у распону 48-65%) и Zn (67 – 93%), Cd и Zn су присутни у Fe-Mn оксидној (F3) (13,2 – 31,9 % и 4 – 22,8% респективно) и органској фракцији (F4) (5,2 – 51,6% и 1,4 -6,13% респективно). Pb и Ni су доминантно заступљени у резидуалној фракцији (у распону од 69 – 84% и 75-90% респективно), затим у органској (F4) (у распону 9-14% и 4 – 19% респективно), те у Fe-Mn оксидној фракцији (F3) (у распону 7 - 19,7 % и 3,4 – 6,12 % респективно) зависно од позиције. Cu, поред доминантне резидуалне фракције (F5) (42,7% - 95%), заступљен је још у органској фракцији (F4) (3,6– 38%) када је у питању подручје изван директне отворене детонације. Поред тога, видљив је пад удјела мобилних фракција за Cd и Cu са повећањем удаљености од централне тачке (на удаљености од 1000м од централне тачке износе у распону 0,6-5,10% за Cd и 1,51-2,55% за Cu), што показује да војне активности које се проводе на полигону имају значајан негативан утицај на земљиште у подручју директне детонације, док негативан утицај генерално опада са удаљавањем према околном земљишту када су у питању Cd и Cu што се поклапа и са резултатима псеудо-укупних концентрација тих елемената и класификацијом загађења посматрајући појединачне позиције. Pb, Ni и Zn су задржали исти тренд у околном подручју као у подручју фугаса и кратера са веома ниским удјелима у мобилним и лако доступним фракцијама.

Одређивањем садржаја тешких метала на различитој удаљености од центра експлозије утврђен је степен контаминације земљишта и дисперзија компонената у односу на центар експлозије. Секвенцијалном екстракцијом одређена је количина метала уклопљених у кристалну решетку (резидуална фракција) и степен излуживања метала различитим растварачима чиме се добио увид у њихову мобилност односно биодоступност. Добијени резултати су кориштени за процјену потенцијалног еколошког ризика рачунањем различитих индекса загађења, а такође су статистички обрађени мултивариационим статистичким методама преко коефицијената линеарне корелације, кластер анализом и анализом главних компонената, те представљени табеларно и графички.

За процјену потенцијалног еколошког ризика земљишта на војном полигону, кориштени су код процјене ризика (RAC), индивидуални (ICF) и глобални (GCF) фактори контаминације, фактор контаминације (CF), индекс загађења (PLI) и индекс геоакумулације (Igeo).

На основу свеукупног разматрања кода процјене ризика (RAC), закључује се да Cd спада у најпроблематичнији метал са аспекта мобилности и приступачности за истраживано подручје јер се утврђени ризик кретао од *ниског до високог* у подручју фугаса и кратера, зависно од испитиваног узорка, док је ризик опадао са повећањем удаљености од центра фугасе F1 и био је *низак до умјерен*, зависно од испитиване позиције. Cu и Zn показују стање *без ризика до низак ризик*, док Ni *не показује ризик* по околину на разматраном подручју. Када је у питању Pb, присутно је стање *без ризика до низак ризик* у подручју фугаса и кратера, док не постоји ризик удаљавајући се од центра фугасе F1 према околном подручју.

Просјечне ICF вриједности за анализирани тешке метале у подручју фугаса, независно од дубине, пратиле су редослијед: Cu > Cd > Pb > Zn > Ni, док код узорака околног подручја, на удаљености од 200м до 1000м од централне тачке (F1), просјечне ICF вриједности су пратиле другачији низ: Cd > Pb > Cu > Zn > Ni, гдје се уочава значајан пад ICF вриједности за Cu у односу на подручје фугаса и кратера. Удаљавајући се од централне тачке F1, примјећује се и пад просјечних ICF вриједности за Cd и Pb, док Ni и Zn имају исте вриједности.

Највише вриједности за ICF односно највећи ризици од контаминације, на истраживаном подручју, су нађени за Cd и Cu.

Кориштењем фактора контаминације (CF) може се извршити процјена степена загађености посматраних позиција по испитиваним металима појединачно, док индекс загађења (PLI) се користи у циљу процјене и поређења загађења између различитих мјерних мјеста и у различитим временским интервалима. На основу добијених вриједности фактора контаминације (CF), када је у питању Cd земљиште је *веома јако загађено* за све позиције изузев SI200, *благо до умјерено загађено* са Pb, *умјерено до јако загађено* са Ni, *благо до веома јако загађено* са Cu и *благо до јако загађено* са Zn, зависно од испитиване позиције. Просјечне CF вриједности указују да степен контаминације појединачних метала опада следећим редослиједом: Cd>>Cu>Ni≈Zn>Pb. Генерално, може се констатовати да је видљив пад загађења код Cd и Cu када се посматра подручје фугаса у односу на околно подручје, док за остале елементе није уочен такав тренд.

Посматрајући вриједности индекса загађења (PLI), закључује се да је истраживано подручје предмет озбиљног антропогеног загађења са аспекта тешких метала на свим испитиваним позицијама јер се креће у опсегу од 2,1 мг/кг до 7,9 мг/кг, зависно од испитиване позиције, стим да је највеће у подручју фугаса и кратера, и опада удаљавајући се од централне тачке фугасе F1 према околном подручју.

Средње вриједности геоакумулационог индекса ( $I_{geo}$ ) указују да степен загађења посматраних елемената опада следећим редослиједом: Cd>Cu>Ni≈Zn≈Pb. Када је у питању Cd, земљиште је умјерено до тешко загађено (класе 2, 3, и 4), док код Cu земљиште је без загађења до тешко загађено (класе 1, 2, 3 и 4), зависно од испитиване позиције, са јасном тенденцијом опадања загађења према околном подручју за оба ова елемента у односу на подручје фугаса. За елементе Ni, Pb и Zn је примјећен прилично уједначен тренд загађења за већину испитаних позиција. На основу  $I_{geo}$  вриједности, земљиште је без загађења до умјерено загађено за све испитиване позиције Ni (класа 1), са изузетком два мјерна мјеста за Pb (класа 0) и Zn (класа 2).

Добијени резултати истраживања обрађени су статистичким методама у циљу дефинисања разлика у концентрацијама, повезаности и поријекла испитиваних елемената у узорцима земљишта. **Корелациона анализа** је показала позитивну корелацију за већину испитаних метала, при чему је нарочито важно истаћи позитивне корелације између Cd и Cu (0,776,  $p=0,000$ ) и Ni и Zn (0,592,  $p=0,001$ ), као и између Cd и Zn (0,495,  $p = 0,005$ ), Pb и Zn (0,508,  $p = 0,004$ ) и Cu и Zn (0,456,  $p = 0,011$ ) што указује на исти извор загађења тешким металима. **Кластер анализа (СА)** примијењена је ради повезивања вриједности псеудо-укупних концентрација елемената у земљишту на различитим локацијама, при чему је сет мултиваријантних података преведен у кластере ради лакшег сагледавања добијених резултата. Кластерска анализа показује постојање двије одвојене групе кластера узорака земљишта које су добијене од 30 испитиваних узорака земљишта са различитих позиција и дубина узорковања, а које се статистички значајно разликују по свом садржају испитиваних тешких метала. Кластерска група на једној страни обухвата узорке земљишта на којима су измјерене највеће концентрације испитиваних тешких метала и за које се може рећи да су значајно загађене тешким металима: I200, S50, F1(30), F1(60), F1(100), F3(30), F3(60), F3(100) и K(30). Ријеч је о локацијама које се налазе у подручју директне отворене детонације, на фугасама F1 и F3 (изузев I200, која се налази на самом ободу фугасе F3) у оквиру којих се врши највећи број уништавања муниције и минско-експлозивних средстава на „Полигону Гламоч“. Друга кластерска грана подијељена је на двије подгрупе. Лијеву подгрупу чине позиције са вишим концентрацијама I200, J500, Z200, JI200, F2(30), F2(60), F2(100) и K(60), док десну подгрупу чине позиције на којима су измјерене најмање концентрације испитиваних тешких метала SI200(30), SI200(60), SI200(100), S200, S500, S1000, SZ200, Z500, Z1000, I500, I1000, J1000 и K(100). Кластер анализом (СА) добијене су такође двије одвојене групе кластера за испитиване тешке метале, на једној страни Zn и Cu, док на другој Ni, Pb и Cd, што указује на исто поријекло и веже се за активности које се проводе на „Полигону Гламоч“. Груписање елемената извршено је на основу измјерених концентрација тешких метала у свим испитиваним узорцима земљишта са „Полигона Гламоч“. Као главни разлог високе концентрације Zn и Cu може се навести учесталост детонација граната као и чахура које су произведене од месинга.

Примјеном **анализе главних компоненти (РСА)** приказан је однос концентрација испитиваних тешких метала (однос промјенљивих) на изабраним позицијама „Полигона Гламоч“ и њихова расподјела. Из матрице која је обухватала 30 узорача у којима је испитан садржај 5 тешких метала издвојене су двије главне компоненте чиме је редукован број оригиналних промјенљивих. Прва главна компонента (PC1) и друга компонента (PC2) објашњавају 50,04% и 25,47% тоталне разлике након ротације, респективно, односно објашњавају 75,51% варијансе од укупне варијансе оригиналних података чиме је задовољен Каисер-ов критеријум према коме главне компоненте треба да укључе минимум 75 % информација (варијансе). Резултати РСА идентификовали су двије главне групе. У оквиру једне групе измјерене су мање концентрације тешких метала (SI200(30), SI200(60), SI200(100), S200, S500, S1000, SZ200, Z500, Z1000, I500, I1000, J1000 K(100), F2(100)) у односу на другу групу у оквиру које су измјерене високе вриједности концентрација и која се дефинише као „антропогени фактор“. S50 је локација на којој су измјерене високе вриједности свих испитиваних тешких метала; K(30), K(60), F1(30), F1(60) и F1(100) са измјереним високим вриједностима за Cd, Ni, Cu и Zn; J500, Z200 и J200 са измјереним високим вриједностима за Pb, Ni и Zn; F3(30), F3(60), F3(100), F2(30) и F2(60) са измјереним високим вриједностима за Cd и Cu; I200 са измјереним високим вриједностима за Cd, Cu и Zn; и позиција J200 са измјереним високим вриједностима концентрација за Ni, Cu и Zn.

Поред тога, приказана је просторна дистрибуција концентрација тешких метала у узорцима земљишта, гдје је визуелно видљиво кретање концентрација метала, од највећих до најнижих, према свим странама свијета. Cd и Cu имају највеће концентрације у близини централне тачке и опадају према околном подручју. Мање концентрације за Cd и Cu нађене су у правцима сјеверозапад, запад, југозапад и југ, док веће у правцима сјевер, сјевероисток, исток и југоисток за Cd, док у правцима сјевероисток и југоисток за Cu. Највеће концентрације Pb и Zn крећу се око централне тачке, али и на већим удаљеностима у правцу југа али и југоистока за Zn. Мање концентрације Pb присутне су у правцима запада, сјеверозапада, сјевера и сјевероистока на већим удаљеностима. Мање концентрације Zn присутне су у правцима запада, сјеверозапада и југозапада у односу на остале посматране правце. Никл је имао прилично неуједначен тренд концентрација. Највеће концентрације су биле око централне тачке али и на мањим удаљеностима у правцу запада и већим удаљеностима у правцима југозапада, југа и истока. Мање концентрације Ni присутне су у правцу сјевероистока и на већим удаљеностима у правцу запада. Из наведеног, видљиво је да су мање оптерећени правац запада са аспекта свих испитиваних тешких метала (једино за Ni на већим удаљеностима), сјеверозапада са аспекта Cd, Pb, Cu и Zn и југозапада са аспекта Cd, Cu и Zn, у односу на остале правце. Више оптерећени правци су југоисток са аспекта Cd, Cu и Zn, југ на већим удаљеностима са аспекта Pb, Ni и Zn и сјевероисток са аспекта Cd и Cu.

**ЗАКЉУЧЦИ.** Мобилност односно биодоступност тешких метала у земљишту разматрани су на основу примјењене процедуре секвенцијалне екстракције и одређених услова у земљишту. За процјене потенцијалног еколошког ризика и утицај предметне локације на загађење земљишта тешким металима, коришћени су различити индекси загађења, док је примјеном различитих мултиваријационих статистичких метода извршена обрада и правилно интерпретирање добијених резултата како би се дошло до идентификације и поријекла загађења земљишта тешким металима. Истраживања су показала да су концентрације Cd, Ni, Cu и Zn, прелазиле МДК у појединим узорцима на испитиваном подручју, док је Pb у свим узорцима било у оквиру максимално дозвољених граница. Повољна околност је што земљиште истраживаног подручја показује алкалну реакцију у подручју отворене детонације и одговара прашкасто-иловачастој структури, што се може окарактерисати као повољно у погледу имобилизације тешких метала. Тек на појединим позицијама на удаљености од 1000м од центра фугасе F1 земљиште показује благо киселу реакцију, што може имати негативан утицај са аспекта токсичности и мобилности тешких метала.

Земљиште на подручју фугаса може се класификовати као средње загађено са аспекта садржаја бабра, кадмија и никла, а високо загађено са аспекта оптерећења цинком. Олово је једини метал

према којем се земљиште класификује као незагађено на читавом истраживаном подручју. Када су у питању узорци околног подручја, на удаљености од 200м до 1000м од центра фугасе F1, видљив је пад концентрација на већини позиција за Cu и Cd, а самим тим и смањења загађења на посматраном локалитету, те се на појединим позицијама класификују као средње загађено земљиште. Ni и Zn су задржали исти степен загађења као у подручју фугаса и класификују се као средње загађено земљиште када је у питању Ni а високо загађено земљиште са аспекта оптерећења Zn. Cu и Zn спадају у ниво загађеног земљишта који представља еколошки ризик и захтијева санацију истраживаног подручја. Ремедијација земљишта оштећеног тешким металима успјешно се може спровести примјеном фиторемедијације - гајењем биљака на контаминираном подручју. Из тог разлога, као санациона мјера предложена је примјена фиторемедијације, као јефтине, еколошки прихватљиве и поуздане алтернативе конвенционалним техникама ремедијације контаминираних подручја.

На истраживаном подручју, тешки метали су доминантно присутни у резидуалној (F5), оксидној (F3) и органској фракцији (F4), са изузетком бакра гдје је примјећен значајан пад у оксидној фракцији (F3) за већину узорака у земљишту околног подручја у односу на подручје фугаса, гдје је генерално присутна само резидуална и органска фракција (изузев позиција J200 и I200 у којима је присутна и оксидна фаза). Кадмијум и бакар су били присутни и у мобилним фракцијама у подручју фугаса услед спроведених активности на полигону, док удаљавајући се од центра фугасе F1 ка околном подручју, видљив је одређени пад мобилних фракција што показује да војне активности које се проводе на полигону имају значајан негативан утицај на земљиште у подручју директне детонације, док негативан утицај генерално опада са удаљавањем према околном земљишту када су у питању Cd и Cu, што се поклапа и са резултатима псеудо-укупних концентрација тих елемената и класификацијом загађења посматрајући појединачне позиције.

Према коду процјене ризика (RAC), кадмијум је показивао низак ризик (то су локација унутар фугасе K100 и локације околног подручја – изузев локације I200), умјерен ризик (то су локација I200 и локације у подручју фугасе – изузев локација F3(30) и K(30)) и висок ризик (локације у подручју фугасе F3(30) и K(30)), док су остали метали били без ризика или су показивали низак ризик. Мобилност односно биодоступност анализираних тешких метала за већину позиција слиједила је редослијед: Cd >> Cu > Zn > Pb > Ni. Узорци околног подручја, генерално су се одликовали нижим ризиком услед пада удјела мобилних фаза у односу на подручје фугаса и кратера, док резултати ICF и GCF показују низак ризик са аспекта времена ретенције и потенцијалне мобилности на истраживаном подручју. На основу добијених вриједности CF, земљиште је класификовано у распону од благо загађеног до веома јако загађеног, зависно од испитиваног метала и испитиване позиције. Просјечне CF вриједности указују да степен контаминације појединачних метала прати следећи редослијед: Cd>>Cu>Ni≈Zn>Pb, из чега је видљиво да највећа опасност долази од кадмијума а да најмању опасност по животну средину представља олово, док са аспекта PLI вриједности (PLI>1) земљиште на истраживаном подручју је предмет озбиљног антропогеног загађења јер су се вриједности индекса загађења кретале у опсегу 2,1 – 7,9 mg/kg, што показује да у земљишту истраживаног подручја постоји антропогени утицај и загађење земљишта тешким металима на свим позицијама, што се може довести у везу са активностима које се проводе на полигону Гламоч. Генерално, може се констатовати да постоји извијестан пад PLI вриједности у околном подручју у односу на подручје фугаса и кратера, изузев позиције I200, која је позиционирана на ободу фугасе F3 и на којој се значајније осјети утицај војних активности.

Вриједности Muller-овог геоакумулационог индекса ( $I_{geo}$ ) указују да се степен загађења посматраних елемената креће у распону класа од 0 (без загађења) до 4 (тешко загађење), зависно од испитиване позиције и метала, те опадају следећим редослиједом: Cd>Cu>Ni≈Zn≈Pb. Класа 4 (тешко загађење) је присутна у подручју фугаса и кратера на позицијама K(30) са аспекта кадмијума и F3(30) са аспекта бакра. У околном подручју примјетан је пад  $I_{geo}$  вриједности за



кадмијум и бакар у односу на подручје фугаса и кратера.

Корелациона анализа је показала позитивну корелацију за већину испитаних метала што указује на исти извор загађења тешким металима односно исто поријекло. Кластер анализа (СА) је показала постојање двије одвојене групе кластера који су настали повезивањем вриједности псеудо-укупних концентрација елемената у земљишту на различитим локацијама с циљем лакшег сагледавања добијених резултата. Кластерска група на једној страни обухвата узорке земљишта са подручја фугаса F1 и F3 (S50, F1(30), F1(60), F1(100), F3(30), F3(60), F3(100)) и кратера (K(30)) на којима се одвија највише отворених детонација, као и узорак I200 који је позициониран на ободу фугасе F3, гдје су измјерене највеће концентрације испитиваних тешких метала. Друга кластерска група подијељена је на двије подгрупе. Лијеву подгрупу чине позиције са вишим концентрацијама, то су локације: J200, J500, Z200, JI200, F2(30), F2(60), F2(100) и K(60). Остатак локација чине десну подгрупу са измјереним најмањим концентрацијама испитиваних метала (SI200(30), SI200(60), SI200(100), S200, S500, S1000, SZ200, Z500, Z1000, I500, I1000, J1000 и K(100)). Кластер анализом (СА) добијене су такође двије одвојене групе кластера за испитиване тешке метале, на једној страни Zn и Cu, док на другој Ni, Pb и Cd, што указује на исто поријекло и веже се за активности које се проводе на „Полигону Гламоч“. Резултати PCA идентификовали су двије главне групе. У оквиру једне групе измјерене су мање концентрације тешких метала (SI200(30), SI200(60), SI200(100), S200, S500, S1000, SZ200, Z500, Z1000, I500, I1000, J1000 K(100), F2(100)) у односу на другу групу у оквиру које су измјерене високе вриједности концентрација и која се дефинише као „антропогени фактор“. S50 је локација на којој су измјерене високе вриједности свих испитиваних тешких метала; K(30), K(60), F1(30), F1(60) и F1(100) са измјереним високим вриједностима за Cd, Ni, Cu и Zn; J500, Z200 и JI200 са измјереним високим вриједностима за Pb, Ni и Zn; F3(30), F3(60), F3(100), F2(30) и F2(60) са измјереним високим вриједностима за Cd и Cu; I200 са измјереним високим вриједностима за Cd, Cu и Zn; и позиција J200 са измјереним високим вриједностима концентрација за Ni, Cu и Zn.

Просторном расподјелом је показано да се углавном највеће концентрације свих испитиваних елемената налазе у подручју фугаса и кратера у односу на околну подручје. Закључено је да су мање оптерећени правци запада са аспекта свих испитиваних тешких метала (једино за Ni на већим удаљеностима), сјеверозапада са аспекта Cd, Pb, Cu и Zn и југозапада са аспекта Cd, Cu и Zn, у односу на остале правце. Више оптерећени правци су југоисток са аспекта Cd, Cu и Zn, југ на већим удаљеностима са аспекта Pb, Ni и Zn и сјевероисток са аспекта Cd и Cu.

**ЛИТЕРАТУРА.** У писању овог рада кандидат је користио 280 референци, релевантних за област истраживања, која је предмет докторске дисертације. Исте су на правилан начин цитиране.

## **V ЗНАЧАЈ И ДОПРИНОС ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ СА СТАНОВИШТА АКТУЕЛНОГ СТАЊА У ОДРЕЂЕНОЈ НАУЧНОЈ ОБЛАСТИ**

Докторска дисертација мр Неде Тешан Томић даје научни допринос у области проучавања примјене Неорганске хемије у области заштите животне средине. Научни допринос докторске дисертације мр Неде Тешан Томић присутан је у области проучавања контаминације земљишта тешким металима и заштите животне средине.

Истраживања у оквиру ове докторске дисертације имају научни и практични значај. Земљиште је необновљиви природни ресурс и очување овог природног ресурса постаје све значајније. Процеси загађења земљишта и воде тешким металима представљају данас велики проблем у многим земљама. Контаминирано земљиште постаје дуготрајни извор загађења водених система и биљних култура које егзистирају на њему, што се неповољно одражава на цјелокупни екосистем у његовој околини. Тешки метали представљају загађујуће материје које испољавају веома штетне утицаје по животну средину и живи свијет, уколико њихова концентрација у неком екосистему премаши дозвољене количине. Ова група загађивача се сматра најзначајнијим узроком деградације

квалитета земљишта, површинских и подземних вода и директним проузроковачем штетних утицаја по здравље људи и животиња.

Процес уништавања муниције и минско-експлозивних средстава на отвореним површинама представља значајног емитера полутаната у животну средину. Нажалост, овом проблему се у неразвијеним и слабо развијеним земљама не посвећује значајна пажња. Како су последице до којих може доћи при овим активностима све израженије, то је довело до подизања свјести о овој проблематици и до предузимања мјера које би предуприједиле и спријечиле нежељене последице.

У БиХ се процес уништења муниције и минско-експлозивних средстава обавља на отвореном простору полигона Гламоч у Гламочу. Свакодневне активности уништавања муниције и минско-експлозивних средстава могу довести до већег оптерећења предметног локалитета полутантима, што може имати негативне последице по животно окружење, пољопривредну производњу и здравље гравитирајућег становништва.

Мониторинг земљишта је важна компонента у програмима заштите и контроле квалитета земљишта. Оцјена квалитета земљишта даје информацију о степену токсичности и опасностима по човјека, биљни и животињски свијет. Растућа свијест о загађењу земљишта и пратећи високи трошкови поступка ремедијације, допринијели су ставу да је превенција јефтинија од санације.

Истраживања која су проведена у оквиру ове дисертације су значајна како са аспекта утврђивања тренутне ситуације на предметном локалитету и разумијевања интеракција између тешких метала и земљишта, тако и при оцјени степена контаминације и ризика и при избору санационих мјера.

Тема докторске дисертације, која је усмјерена на испитивање утицаја тешких метала (Cd, Cu, Ni, Pb и Zn) на квалитет земљишта, и њихове мобилности односно биодоступности је веома актуелна и ова проблематика се континуално разматра. У спроведеном истраживању примјењена је моификована *Тессуер* метода, на основу које је показано да уништавање муниције и минско-експлозивних средстава методом отворене детонације утиче на квалитет земљишта, нарочито када су у питању кадмијум и бакар, јер су значајно присутни у мобилним фракцијама у подручју фугаса, док њихов удио опада удаљавајући се од централне тачке фугасе у односу на коју је вршено узорковање. Кориштењем различитих индекса загађења показан је степен деградације квалитета земљишта и дата процјена ризика. Загађење земљишта се кретало од незагађеног до веома јако/тешко загађеног, док се ризик кретао у распону од мјерних мјеста без ризика до подручја високог ризика, зависно од испитиваног метала и позиције.

Циљ ремедијационог процеса је да се спријечи ширење загађења због продирања у подземну воду и улажења опасних материја у ланац исхране. Из тог разлога, као санациона мјера предложен је поступак фиторемедијације, помоћу биљака које имају способност уклањања и разградње релативно великог броја загађујућих материја, посебно метала.

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

Урађена дисертација доприноси сазнањима о утицају и мобилности тешких метала доспјелих у земљиште активностима уништавања муниције и минско-експлозивних средстава, те потврђује могућност примјене модификоване *Тессуер* методе, као једне од савремених метода, у испитивању фракција метала у матриксу земљишта. Проведено истраживање доприноси бољем разумијевању интеракција између тешких метала и земљишта, облика у којима су присутни и услова који доводе до њихове мобилности. Спроведено истраживање ће помоћи бољем разумијевању утицаја

уништавања муниције и минско-експлозивних средстава на присуство тешких метала у земљишту и здравље људи и у будућем изналажењу оптималних поступака за ремедијацију контаминираниог земљишта. Кандидат је у свом истраживању користио различите коефицијенте за процјену загађења и ризика, те дошао до закључка да је потребно успоставити корелацију између различитих метода за процјену ризика и да је потребно користити више метода за процјену стања на терену, како би се избјегло доношење погрешних закључака.

Кандидат мр Неда Тешан Томић је успјешно и у цјелости обавила истраживања која су предвиђена планом у пријави ове докторске дисертације. Добијени резултати проистекли из ових истраживања су презентовани прегледно, са логичним редослиједом и илустровани са одговарајућим сликама и табелама. Резултате истраживања кандидат је јасно и прецизно тумачио, у складу са најновијим научним сазнањима у области загађења земљишта и заштите животне средине.

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

## VII ПРЕГЛЕД ОСТВАРЕНИХ РЕЗУЛТАТА РАДА КАНДИДАТА У ОДРЕЂЕНОЈ НАУЧНОЈ ОБЛАСТИ

Кандидат мр Неда Тешан Томић је у изради ове дисертације користила исправну методологију научно-истраживачког рада, и показала неопходну стручност и критичност у проучавању, истраживању и тумачењу резултата добијених истраживањем.

Кандидат је резултате спроведеног истраживања у оквиру докторске дисертације публиковао научној и стручној јавности путем објављених радова у међународним часописима и реферисањем на научним скуповима. Из спроведеног истраживања у оквиру докторске дисертације, до сада су публиковани следећи радови:

1. **Neda Tešan Tomić**, Slavko Smiljanić, Miladin Gligorić, Aleksandar Došić (2019). DETERMINATION OF HEAVY METALS CONTENT IN SURFACE LAYERS OF SOIL PITS, *Scientific paper, VI International Congress "Engineering, Environment and Materials in Processing Industry"*.
2. **Neda Tešan Tomić**, Slavko Smiljanić, M. Jović, M. Gligorić, D. Povrenović, A. Došić (2018). Examining the Effects of the Destroying Ammunition, Mines and Explosive Devices on the Presence of Heavy Metals in Soil of Open Detonation Pit: Part 1—Pseudo-total Concentration, *Water Air Soil Pollut*, 229:301.
3. **Neda Tešan Tomić**, Slavko Smiljanić, M. Jović, M. Gligorić, D. Povrenović, A. Došić (2018). Examining the Effects of the Destroying Ammunition, Mines and Explosive Devices on the Presence of Heavy Metals in Soil of Open Detonation Pit; Part 2: Determination of Heavy Metal Fractions, *Water Air Soil Pollut*, 229:303.
4. **Neda TEŠAN TOMIĆ**, Slavko SMILJANIĆ, Vesna TUNGUZ (2017). SOURCES OF HEAVY METALS AND THEIR INFLUENCE ON THE SOIL, *Proceedings of the VIII International Agricultural Symposium „AGROSYM 2017“*.
5. **Neda Tešan Tomić**, Slavko Smiljanić (2016). UTICAJ MUNICIJE I MINSKO EKSPLOZIVNIH SREDSTAVA NA ŽIVOTNU SREDINU, pregledni rad, *V međunarodni kongres "Inženjerstvo, ekologija i materijali u procesnoj industriji"*.

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

Кандидат мр Неда Тешан Томић је докторску дисертацију урадила у складу са образложењем наведеним у пријави теме. Према обиму докторска дисертација је написана на 123 стране А4 формата, садржи 53 слике, 33 табеле, 2 прилога и 280 литературних навода. У раду су наведени циљеви израде докторске дисертације, дат је преглед стања у подручју истраживања код нас и у свијету, а поглавља значајна за предмет истраживања су темељно и систематски обрађена. Кандидат је истражио неопходан обим почетних узорака потребних за утврђивање стања у истраживаној области, и приказао је методе истраживања и инструменталну технику који су коришћени за анализирање почетних узорака. 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

Након спроведеног истраживања у оквиру докторске дисертације, кандидат је дошао до следећих резултата:

Потврђена је могућност примјене модификоване *Тессуер* методе на узоецима контаминираниог земљишта.

На основу наведене методе је показано да уништавање муниције и минско-експлозивних средстава методом отворене детонације утиче на квалитет земљишта, нарочито када су у питању кадмијум и бакар, јер су присутни у мобилним фракцијама у подручју фугаса, док њихов удио опада са удаљавањем од мјеста експлозије (централне тачке фугасе) у односу на које је вршено узорковање. Доказана је присутност кадмијума у мобилним фракцијама чак до 34%, док бакра до 7,5% у подручју фугаса.

Pb, Ni и Zn су заступљени у веома малим количинама у мобилним и лако доступним фракцијама, што упућује на мању опасност ових елемената по животну средину након спроведених активности уништавања МиМЕС.

Анализирајући актуелну легислативу, констатована је велика неусаглашеност на глобалном нивоу.

Анализирајући различите коефицијенте загађења, који су кориштени за процјену стања односно степена загађења земљишта, констатована је неподударност резултата што упућује на закључак да је исте потребно модификовати односно усагласити резултате који се добијају примјеном различитих коефицијената, те користити више метода за процјену стања – како би се избјегло једнострано доношење закључака о актуелном стању на испитиваном подручју.

Резултати псеудо-укупног облика тешких метала су показали значајно оптерећење Cu до 7 пута и Cd до 6 пута (осим на једном мјерном мјесту које је било у оквиру МДК) у односу на МДК прописане у складу са важећим прописима у БиХ. У недостатку домаћих прописа, служећи се прописима појединих земаља који прописују *степен онечишћења земљишта*, земљиште истраживаног подручја је класификовано као **средње загађено** са аспекта бакра, кадмија и никла, а **високо загађено** у односу на цинк. Олово је био једини метал према којем се земљиште класификовало као **незагађено** на цијелом истраживаном подручју. Примјеном прописа појединих земаља који прописују *интервентне/ремедиационе вриједности* за тешке метале, концентрације **бакра** и **цинка** на испитиваном подручју одговарају загађеном земљишту које представља еколошки ризик и захтијева санацију терена.

Из наведеног евидентна је велика неусаглашеност актуелне легислативе, јер референтни прописи појединих земаља наводе да је земљиште средње загађено са аспекта бакра, док референтни прописи других земаља процјењују да се ради о загађеном земљишту са аспекта  $Cu$  које захтијева санацију терена.

Процјена загађења земљишта тешким металима, процјена еколошког ризика и степен деградације земљишта на истраживаном подручју дати су на основу коришћења различитих индекса загађења.

На основу резултата кода процјене ризика (RAC), кадмијум је препознат као најпроблематичнији метал са аспекта мобилности и присупачности за биљни и животињски свијет јер се ризик кретао од ниског до високог на истраживаном подручју, бакар и цинк су били без ризика или су показивали низак ризик, никл је био без ризика, док је олово показивало стање без ризика до низак ризик у подручју фугаса, а у околном подручју није било ризика од олова. Узорци околног подручја, генерално су се одликовали нижим ризиком услед пада удјела мобилних фаза у односу на подручје фугаса и кратера.

Са аспекта вриједности индивидуалног фактора контаминације (ICF) највећи ризици од контаминације на истраживаном подручју су нађени за  $Cu$  и  $Cd$ . Просјечне ICF вриједности за анализирани тешке метале, независно од дубине, пратиле су исти редослијед:  $Cu > Cd > Pb > Zn > Ni$ , док код узорака околног подручја, на удаљености од 200м до 1000м од централне тачке (F1), просјечне ICF вриједности су пратиле другачији низ:  $Cd > Pb > Cu > Zn > Ni$ , гдје се уочава значајан пад ICF вриједности за  $Cu$  у односу на подручје фугаса и кратера. Удаљавајући се од централне тачке F1, примјећује се и пад просјечних ICF вриједности за  $Cd$  и  $Pb$ , док  $Ni$  и  $Zn$  имају исте вриједности.

Користећи вриједности добијене секвенцијалном екстракцијом за израчунавање вриједности RAC и ICF, може се констатовати да постоје одређене неусаглашености, јер је RAC препознао кадмијум као најпроблематичнији метал, док је на основу ICF вриједности то био бакар у подручју фугаса. Поред тога, ICF и GCF вриједности дефинишу низак ризик са аспекта времена ретенције и потенцијалне мобилности истраживаног подручја, док RAC даје процјену да је истраживано подручје *без ризика* за никл, *без ризика до низак ризик* за цинк, бакар и олово, те *низак, умјерен до висок ризик* за кадмијум, зависно од испитиване позиције.

Користећи добијене вриједности за псеудо-укупни облик тешких метала за израчунавање фактора контаминације (CF), земљиште је *веома јако загађено* за све позиције изузев SI200 када је у питању  $Cd$ , *благо до умјерено загађено* са  $Pb$ , *умјерено до јако загађено* са  $Ni$ , *благо до веома јако загађено* са  $Cu$  и *благо до јако загађено* са  $Zn$ , зависно од испитиване позиције. Просјечне CF вриједности указују да степен контаминације појединачних метала опада следећим редослиједом:  $Cd > Cu > Ni \approx Zn > Pb$ . Генерално, може се констатовати да је видљив пад загађења  $Cd$  и  $Cu$  са повећањем удаљености од центра фугаса, док за остале елементе није уочен такав тренд.

Посматрајући вриједности индекса загађења (PLI), закључује се да је истраживано подручје предмет озбиљног антропогеног загађења са аспекта тешких метала на свим испитиваним позицијама јер се креће у опсегу од 2,1 мг/кг до 7,9 мг/кг ( $PLI > 1$ ), зависно од испитиване позиције, стим да је највеће у подручју фугаса и кратера, и опада удаљавајући се од централне тачке фугасе F1 према околном подручју.

Средње вриједности геоакумулационог индекса ( $I_{geo}$ ), добијене користећи резултате за псеудо-укупни облик тешких метала, указују да степен загађења посматраних елемената опада следећим редослиједом:  $Cd > Cu > Ni \approx Zn \approx Pb$ . Када је у питању  $Cd$ , земљиште је умјерено до тешко загађено (класе 2, 3, и 4), док код  $Cu$  земљиште је без загађења до тешко загађено (класе 1, 2, 3 и 4), зависно од испитиване позиције, са јасном тенденцијом опадања загађења према околном подручју за оба

ова елемента у односу на подручје фугаса. За елементе Ni, Pb и Zn је примјећен прилично уједначен тренд загађења за већину испитаних позиција. На основу  $I_{geo}$  вриједности, земљиште је без загађења до умјерено загађено за све испитиване позиције Ni (класа 1), са изузетком два мјерна мјеста за Pb (класа 0) и Zn (класа 2).

Користећи добијене вриједности за псеудо-укупни облик тешких метала код израчунавања фактора контаминације (CF) и геоакумулационог индекса ( $I_{geo}$ ), видљиво је да постоји слагање када је у питању процјена степена контаминације појединачних метала јер је у оба случаја препознат кадмијум као најпроблематичнији метал, затим бакар, никл, цинк и олово. Међутим, уочава се да постоји неусаглашеност код дефинисања нивоа загађења појединачних метала. Тако је код израчунавања фактора контаминације добијено да је земљиште *благо до јако загађено* са Zn, зависно од испитиване позиције, док код вриједности геоакумулационог индекса земљиште је *без загађења до умјерено загађено* са аспекта овог елемента. Слична ситуација је и са осталим испитиваним елементима.

Из горе наведеног, видљиво је да је идентификована неусаглашеност добијених нивоа загађења тешким металима истраживаног подручја због чега је индексе за процјену потенцијалног еколошког ризика и загађења земљишта потребно међусобно усагласити, те довести у одговарајући склад законску регулативу која прописује класификацију загађеног земљишта и интервентне/ремедијационе вриједности тешких метала у земљишту.

На крају, потребно је нагласити да се научни резултати огледају и у томе што је проведено истраживање допринијело бољем познавању интеракције између тешких метала и земљишта, што у конкретном случају доприноси бољем разумијевању утицаја уништавања муниције и минско-експлозивних средстава на земљиште и здравље људи и може помоћи ће у будућем изналажењу оптималних поступака за ремедијацију контаминираних земљишта.

## **X ПРИМЈЕЊИВОСТ И КОРИСНОСТ РЕЗУЛТАТА У ТЕОРИЈИ И ПРАКСИ**

Резултати ове докторске дисертације су значајни и примењиви на пољу проучавања утицаја и мобилности тешких метала на контаминираним подручјима, било да се ради о подручјима на којима се спроводе активности уништавања муниције и минско-експлозивних средстава, brown-field подручјима, подручјима депонија, јаловишта..., или другим контаминираним локацијама. Заштита животне околине, земљишта, подземних и површинских вода од загађења је једна од најбитнијих обавеза човјечанства јер "чистог земљишта и чисте воде за пиће" је све мање, а загађивача свакодневно све више. Примјењена методологија истраживања се може примјенити и на другим полигонима и локацијама на којима се могу очекивати слични контаминанти.

## **XI ОЦЈЕНА И ЗАКЉУЧЦИ**

Докторска дисертација кандидата мр Неде Тешан Томић, дипломираног инжењера технологије, урађена је у складу са циљевима и задацима који су постављени 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 научној области заштите животне средине. Докторска дисертација нема недостатака који би утицали на њену коначну вриједност.

На основу свега изложеног Комисија позитивно оцјењује урађену докторску дисертацију кандидата **мр Неде Тешан Томић**, под насловом „Истраживање утицаја уништавања муниције и минско-експлозивних средстава на присуство и мобилност тешких метала у земљишту“ и предлаже Наставно-научном вијећу Технолошког факултета Универзитета у Источном Сарајеву да прихвати ову оцјену и омогући кандидату јавну одбрану дисертације под наведеним насловом.

Зворник, 23.09.2019. год.

#### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

-----  
Др Славко Смиљанић, ванр. проф., ментор,  
Технолошки факултет Зворник, Универзитет у Источном Сарајеву

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

-----  
Др Драган Повреновић, ред. проф., члан,  
Технолошко-металуршки факултет Београд, Универзитет у Београду,

-----  
Др Јован Ђуковић, проф. емеритус, члан,  
Технолошки факултет Зворник, Универзитет у Источном Сарајеву

-----  
Др Александар Дошић, доцент, члан,  
Технолошки факултет Зворник, Универзитет у Источном Сарајеву