

**НАУЧНО НАСТАВНОМ ВЕЋУ
ГРАЂЕВИНСКОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ**

Одлуком Научно-наставног већа Грађевинског факултета у Београду број: 84/11-15 од 8.9.2016. године, одређени смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације Милутина Пејовића, дипломираног инжењера геодезије, под насловом:

**„ГЕОСТАТИСТИЧКО МОДЕЛИРАЊЕ
ГЕОХЕМИЈСКИХ ПРОМЕНЉИВИХ У 3Д
ПРОСТОРУ“**

Комисија у саставу:

1. Проф. др Бранислав Бајат, дипл. инж. геод., Универзитет у Београду,
Грађевински факултет;
2. В. проф. др Загорка Госпавић, дипл. инж. геод., Универзитет у Београду,
Грађевински факултет;
3. Доц. др Милан Килибарда, дипл. инж. геод., Универзитет у Београду,
Грађевински факултет;
4. Виши научни сарадник др Драган Чакмак, дипл. инж. пољ, Институт за
земљиште, Београд;
5. Виши научни сарадник др Томислав Хенгл, дипл. инж. шум., Wageningen
University and Research Centre, ISRIC.

после прегледа поднете дисертације подноси Научно-наставном већу следећи

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

Предметна дисертација је пријављена 12.03.2015. године. На седници Наставно-научног већа Грађевинског факултета од 19.03.2015. године одређена је Комисија за пријем теме докторске дисертације, одлуком број: 84/5, од 19.3.2015. године. Комисија је поднела извештај 17.04.2015. године, који је прихваћен на седници Наставно-научног већа одржаној 23.04.2015. године, одлука број: 84/7, од 23.04.2015. године. На

основу сагласности Већа научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду од 26.05.2015. године, одлука број: 61206-1885/2-15, Научно-наставно веће Грађевинског факултета одобрило је рад на дисертацији.

Кандидат Милутин Пејовић, дипл. инж. геод. предао је урађену докторску дисертацију Студентској служби Грађевинског факултета 1.09.2016. године.

Тема дисертације припада научној области Геодезије, односно ужој научној области Моделирање и менаџмент у геодезији, за коју је матичан Грађевински факултет Универзитета у Београду.

2. Биографија

Милутин Пејовић је рођен у Врбасу, Србија, 30. марта 1983. године, од оца Милинка и мајке Радмиле. Основну школу и гимназију, природно-математички смер, завршио је у Врбасу 1998., односно 2002. године, одличним успехом. Грађевински факултет, Одсек за геодезију уписао се 2002. године. Дипломирао је 2009 године са просечном оценом 8,57. Дипломски рад из предмета Инжењерска геодезија на тему: „Пројектовање геодетских радова у инвестиционом циклусу изградње стамбено пословног објекта“, одбранио је са оценом 10.

Докторске студије на Грађевинском факултету је уписао 2009. године, и положио све испите са просечном оценом 10,00. Током докторских студија је као аутор или коаутор објавио више научних и стручних радова, од тога: 2 рада у међународним часописима са *SCI* листе, 1 рад у међународним часописима, 3 рада у домаћим часописима, и 12 радова на међународним конференцијама.

Од 14. маја 2010., Милутин Пејовић је запослен као асистент на Грађевинском факултету у Београду. Учествоје у настави на предметима: Инжењерска геодезија 1 и 2, Пројектовање геодетских радова у инжењерству, Деформациона анализа инжењерских објеката, Геодезија у формирању информационих система инжењерских објеката, као и у организацији и одржавању практичне наставе. Као истраживач учествовао је на 2 истраживачка пројекта финасирана од стране министарства науке.

3. ТЕХНИЧКИ ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

Докторска дисертација Милутина Пејовића под насловом „Геостатистичко моделирање геохемијских променљивих у 3Д простору“ садржи укупно 158 страна, У оквиру дисертације приказано је 38 оригиналних слика, 24 табеле као и велики број нумерисаних израза. На крају дисертације дат је попис цитиране литературе који садржи 109 библиографских наслова, углавном актуелних иностраних извора. Дисертација је написана на енглеском језику и у потпуности је обликована у складу са упутством Сената Универзитета у Београду од 14.12.2012. године (Упутство за формирање репозиторијума докторских дисертација) и посебним упутствима за обликовање штамане и електронске верзије дисертације, формирање образаца изјава и ауторских лиценци.

Дисертација укупно садржи 7 поглавља са следећим насловима (преведеним на српски):

- Увод.
- Главни концепти и методе.
- Опис експеримента и подаци.
- Картирање концентрације арсена на различитим слојевима земљишта разматрањем експонираности терена према извору загађења.
- Моделирање земљишних карактеристика у 3Д простору применом "условљених" регресионих метода.
- "PenInt3D" софтверски пакет за картирање земљишних променљивих у 3Д простору.
- Закључак

Поред главних поглавља, дисертација још садржи списак коришћене литературе као и списак слика и табела.

У првом поглављу укратко је представљена проблематика геостатистичког моделирања земљишних променљивих у 3Д простору. Нарочито су истакнуте специфичности земљишта које је под дуготрајним утицајем индустријске зоне, због специфичности података коришћених у овој дисертацији, који су узорковани на земљишту у близини Рудника бакра Бор. Поред тога, представљени су предмет и циљеви истраживања, кроз кључна питања на које теза даје одговор. Као примарни циљ истраживања истакнуто је дефинисање методолошког приступа који омогућава креирање геостатистичког 3Д модела земљишних карактеристика, који узима у обзир променљиве ефекте спољних фактора, како у хоризонталном смислу тако и по дубини. У наставку су изложени специфични циљеви докторске дисертације који се односе на конкретне методолошке проблеме у дефинисању поменутог приступа. Веома важан, специфични, циљ је изналагање одговарајућих параметара којима би се апроксимирали специфичности спољних фактора, као што је на пример, топографска изложеност терена извору загађења. Поред тога, у уводном поглављу, представљен је оквирни методолошки приступ у којем су поменуте специфичне методе моделирања циљаних земљишних променљивих као и методе верификације добијених модела. На крају уводног поглавља, укратко је представљен садржај дисертације по поглављима.

У другом поглављу представљени су основни концепти и теоријске основе метода статистичког и геостатистичког моделирања које су коришћене у овој студији. Друго поглавље састоји се од три потпоглавља. У првом је представљен главни концепти педогенезе као и концептуални приступ моделирању земљишта. Затим, представљене су основе предиктивног статистичког моделирања, док је у последњем делу приказане теоријске основе геостатистичких метода, као и савремене тенденције које се односе на тро-димензионално моделирање земљишта.

У трећем поглављу су описани подаци коришћени у овој студији. Приказане су и основне климатолошке, топографске и социолошке карактеристике подручја на које се подаци односе. Истакнут је проблем утицаја рудника бакра Бор на концентрацију штетних елемената у ваздуху и земљишту у околину. Дистрибуција података је представљена у хоризонталном и вертикалном смислу, као и у односу на карактеристичне типова земљишта.

У четвртном поглављу представљена је студија геостатистичког картирања концентрације арсена (As) на различитим слојевима земљишта узимањем у обзир

експонираност терена ветру, а тиме и наносу штетних материја које потичу од топионице рудника. У преамбули овог поглавља, наведено је да ово поглавље представља већински део „рукописа“ рада који је послат у часопис „*Journal of Geochemical Exploration*“ и који је, у тренутку писања овог извештаја, у фази рецензирања.

У петом поглављу представљен је иновативан приступ предиктивног моделирања земљишних карактеристика у 3Д простору. Методолошки, представљен приступ је базиран на 3Д регресионом кригингу. У оквиру овог приступа, представљена је методологија аутоматског избора 3Д модела тренда базирана на *lasso* регресионој техници. Иновативност овог приступа огледа се у методологији аутоматског избора линеарног 3Д модела тренда земљишних променљивих, који укључује у разматрање и чланове интеракције између површинских помоћних променљивих и дубине земљишта. Поред тога, представљен је и иновативни приступ верификацији модела који је базиран на угњежденој унакрсној валидацији.

У шестом поглављу представљено је оригинално софтверско решење које имплементира претходно описану методологију. Софтверско решење садржи низ функција развијаних у R окружењу, који би у будућности представљале основу *PenInt3D* пакета за 3Д картирање земљишних променљивих. У оквиру поглавља описан је начин имплементације методологије при решавању три главна задатка: избора модела, просторне предикције и евалуације тачности предикције.

У последњем поглављу дата су закључна разматрања и сублимација научног доприноса ове дисертације.

4. АНАЛИЗА ДИСЕРТАЦИЈЕ

Предмет истраживања овог рада је анализа могућности постојећих као и развијање иновативних приступа тро-димензионалног моделирања земљишних карактеристика, сходно изазовима које земљишни подаци и природа земљишних карактеристика носе са собом. Као свој примарни резултат, ова дисертација предлаже иновативни приступ моделирању земљишних карактеристика у 3Д, који подразумева израду интерактивног 3Д модела тренда и моделирање резидуала тренда применом 3Д кригинга, све у складу са принципима предиктивног статистичког моделирања. Под предиктивним моделирањем се подразумева приступ креирању статистичког модела у циљу обезбеђивања најбоље могуће предикције. Међутим, с'обзиром да је за метода линеарног моделирања изабрана за креирање тренда, важност интерпретабилности модела је такође истакнута.

Важан аспект ове тезе је то што се она бави земљиштем и земљишним карактеристикама које су под изразитим утицајима спољних фактора. У складу са тим, подаци коришћени у овом раду се односе на концентрације арсена (As), органске материје (SOM) и киселости (pH) мерених у узорцима карактеристичних земљишних хоризоната на преко 200 земљишних профила, равномерно распоређених по подручју. Подручје на којем су прикупљани узорци протеже се територији општине Бор, и то, између кречњачког масива Злот на западу, села Злот на југу, Борског језера на југо-истоку, општине Жагубица на северу и кречњачког масива Кривељ на северо-истоку.

Кључни доприноси ове дисертације представљени су у оквиру поглавља 4, 5 и 6.

У оквиру четвртог поглавља, анализирана је могућност употребе опште доступних података у циљу квантификације специфичних услова који утичу на распршивање штетних материја из постројења рудника на земљиште у околини. Добро позната геостатистичка метода, позната под називом „Spline-Than-Krige“ је употребљена у оквиру ове студије за моделирање и картирање концентрације арсена на дубинама 0-5 cm, 5-15 cm, 15-30 cm, у земљишту у близини рудника бакра Бор. На основу претходне анализе мерења арсена на око 200 земљишних профила, са најмање једним, а највише 4 мерења у оквиру профила, утврђен је тренд повишене концентрације арсена у горњим слојевима земљишта, што наводи на изражен утицај активности рударских постројења. У оквиру ове студије, представљен је иновативан приступ квантификације изложености (експонираности) терена познатом извору загађења. За сваку „ћелију“ правилног грида, резолуције 20 m, израчуната је вредност геометријске и топографске изложености терена извору загађења. Изрази за рачунање параметера геометријске и топографске изложености детаљно су приказани у оквиру студије. Може се издвојити нови параметар, предложен од стране аутора, којим се квантификује топографска изложеност терена на утицај ветра из правца извора загађења. Тако дефинисани параметри, искоришћени су за креирање просторних помоћних променљивих којима је дефинисан линеарни тренд концентрације арсена у земљишту на поменуте три дубине. Анализа тренда показала је значајну зависност утицаја појединих параметара, сугеришући на важност укључивања нових чланова модела којима се она описује. Тако дефинисан тренд, је искоришћен у оквиру регресионог кригинга за потребе интерполације концентрације арсена на све три дубине. На тај начин, креиране су карте концентрације арсена за подручје од интереса. Закључци ове студије истичу ефикасност примењене методе, информативности параметера геометријске и топографске изложености терена извору загађења, али и указују на неопходност укључивања додатних информација којима би се обухватили сви утицаји који утичу на дистрибуцију арсена у земљишту у непосредној близини рудника.

Пето поглавље представља кључни део ове дисертације. У њему је представљен иновативни геостатистички приступ израде 3Д модела дистрибуције земљишних променљивих. Методолошки, овај приступ је заснован на 3Д регресионом кригингу, код којег је тренд дефинисан линеарном функцијом која укључује интеракције између површинских помоћних променљивих и дубине. Интерполација резидуала базирана је на 3Д кригингу. Комплетан предложени приступ је базиран на принципима предиктивног статистичког моделирања. Иновативност овог приступа огледа се у примени „lasso“ регуларизационе регресионе методе, којом је омогућен аутоматски избор значајних предиктора, укључујући и чланове интеракције површинских помоћних променљивих и дубине. На тај начин, омогућено је креирање 3Д модела тренда који има високу интерпретабилност, као и могућност промене утицаја површинских променљивих у зависности од дубине на којој се врши предикција. Укључивање интеракција разматрано је, са и без поштовања принципа хијерархије, по којем интеракције могу бити укључене у модел, само ако су одговарајуће променљиве значајне за предиктивну способност модела. Саставни део овог приступа је и геостатистичко моделирање резидуала, где централни део заузима дефинисање 3Д модела вариограма, којим се дефинише просторна зависност резидуала у 3Д простору.

Поред тога, у оквиру овог поглавља, предложен је начин имплементације угњеждене унакрсне валидације модела, којом је обезбеђена потпуна независност креирање модела и његове валидације. Угњеждена унакрсна валидација је

имплементирана тако да обезбеди конзистентност валидације дво-степеног поступка моделирања, који подразумева примена регресионог кригинга.

Добијени резултати указују да се увођењем интеракција између површинских помоћних променљивих и дубине у 3Д модел може унапредити модел и до 20%. Најзначајнија унапређења су добијена за арсен и органску материју, који имају изражену варијацију у горњим слојевима земљишта. Поред тога, увођење интеракција резултирало је избором модела који укључује мањи број помоћних променљивих, што је унапредило интерпретабилност модела.

У оквиру шестог поглавља, представљена је имплементација примењене методологије у оквиру оригиналног софтверског решења за 3Д моделирање земљишних променљивих. Софтверско решење је имплементирано у R окружењу и обухвата неколико, јавно-доступних, функција којима се решавају три главна задатка: избор модела, просторна предикција и валидација тачности модела. Функције су дефинисане тако да омогућавају полу-аутоматско решавање поменутих задатака, омогућавајући интерактивни приступ моделирању и валидацији модела.

У седмом поглављу изнета су закључна разматрања и предлог даљих истраживања.

5. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ И СПОСОБНОСТ КАНДИДАТА ЗА САМОСТАЛНИ НАУЧНИ РАД

Докторска дисертација Милутина Пејовића под насловом „Геостатистичко моделирање геохемијских променљивих у 3Д простору“ представља актуелан научни допринос у области геостатистичком моделирања. Анализом резултата презентованих истраживања, може се закључити да предметна дисертација представља резултат зрелог и посвећеног истраживачког рада, заснованог на теоријској и експерименталној основи и признатим научним методама. Добијене резултате и закључке изведене у оквиру дисертације из тог разлога треба прихватити као потпуно валидне.

Кандидат је дефинисао кључне недостатке које би требало узети у обзир приликом геостатистичког моделирања земљишних променљивих у 3Д простору. За указане недостатке, кандидат је, у оквиру докторске дисертације предложио ефикасна решења која су опште применљива. Конкретно, недостатак довољне количине информација којима би се детаљно описао процес распрострањања штетних материја из рудника, је надомешћен анализом геометријске и топографске изложености терена извору загађења; недостатак помоћних променљивих познатих у 3Д домену, решен је укључивањем интеракција између површинских помоћних променљивих и дубине; проблем појаве драстично већег броја променљивих који је узрокован укључивањем интеракција у модел, решен је применом *lasso* регресионе технике која је омогућила аутоматски избор значајних предиктора, укључујући и интеракције, по хијерархијском и нехијерархијском принципу; проблем различите размере мерених података у хоризонталном и вертикалном смислу, на рачунање параметара анизотропије модела 3Д вариограма резидуала, превазиђен је увођењем карактеристичне функције којом је моделирана вертикална дистрибуција резидуала.

Иновативни приступ моделирању земљишних променљивих у 3Д простору, која је представљена у овој дисертацији, представља оригиналану методологију, нарочито погодну за моделирање земљишних променљивих које су под снажним утицајем спољним фактора, као што су близина индустријске зоне или неки други природни процес. Поред тога, представљена методологија представља значајан допринос у области тро-димензионалног моделирања природних процеса, уопште. Велики број помоћних променљивих, доступних у форми тематских лејера, су веома богат извор информација. Начин на који си информације површинских помоћних променљивих укључене у 3Д модел земљишта, може бити преузет и искоришћен у многим другим студијама које се баве просторним моделирањем.

У прегледаној дисертацији је такође представљен оригиналан начин аутоматизације геостатистичког моделирања земљишних карактеристика у 3Д простору, као и анализе и визуелизације мерених података.

Све напред наведено, укупно посматрано, представља оригиналне и вредне научне и практичне доприносе у области која је истраживана, а студиозни приступ проблему, аналитичка обрада постојеће литературе, спроведене анализе и изведени закључци несумњиво сведоче о способности кандидата за самостални научно-истраживачки рад.

6. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

У својој докторској дисертацији, Милутин Пејовић, дипл. инж. геод. дао је вредан научни допринос у области геостатистичког моделирања земљишних карактеристика, која је изузетно актуелна у последње време, услед повећања свести и важности и необновљивости земљишта као природног ресурса. Дакле, поред изузетног доприноса у области геостатистичког моделирања, методологија и представљени резултати дефинишу модел применљив за моделирање других просторних феномена, који су под изразитим утицајем других просторних фактора.

На основу претходно изложеног, може се констатовати да докторска дисертација „Геостатистичко моделирање геохемијских променљивих у 3Д простору“ кандидата Милутина Пејовића, дипл. инж. геод. представља оригинални и вредан научни допринос у области геостатистичког моделирања земљишних карактеристика, и да има све неопходне елементе докторске дисертације. Стога Комисија предлаже Научно-наставном већу Грађевинског факултета Универзитета у Београду да прихвати овај извештај и упути захтев већу матичне научне области за давање сагласности за њену јавну одбрану.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Проф. др Бранислав Бајат, дипл. геод. инж.
Универзитет у Београду, Грађевински факултет

.....
В. Проф. др Загорка Госпавић, дипл. геод. инж
Универзитет у Београду, Грађевински факултет

.....
Доц. др Милан Килибарда, дипл. геод. инж
Универзитет у Београду, Грађевински факултет

.....
Виши научни сарадник др Драган Чакмак дипл. инж. пољ.
Институт за земљиште, Београд

A handwritten signature in blue ink, reading "Xenj Tomislav". The signature is written in a cursive, flowing style.

.....
Виши научни сарадник др Томислав Хенгл дипл. инж. шум.
Универзитет у Вахенингену, Холандија