

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ГРАЂЕВИНСКОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ**

Одлуком Научно-наставног већа Грађевинског факултета у Београду бр. 225/17-18 од 21.05.2026. године, одређени смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Корнелије Кљечанин**, маг. инж.геодез. под насловом:

“Оптимизација геометрије терестричког ласерског скенирања”

Комисија у саставу:

1. В.проф. др Марко Пејић, дипл. инж. геод., Универзитет у Београду, Грађевински факултет;
2. Проф. др Бранислав Бајат, дипл. инж. геод., Универзитет у Београду, Грађевински факултет;
3. В.проф. др Жељко Цвијетиновић, дипл. инж. геод., Универзитет у Београду, Грађевински факултет;
4. В.проф. др Милева Самарцић-Петровић, дипл. инж. геод., Универзитет у Београду, Грађевински факултет; и
5. Проф. др Зоран Сушић, дипл. инж. геод. (Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду),

после прегледа докторске дисертације већина чланова комисије подноси Наставно-научном већу Грађевинског факултета у Београду следећи извештај.

ИЗВЕШТАЈ

1 ЧИЊЕНИЦЕ О ПРОЦЕДУРИ ПРИЈАВЉИВАЊА, ОДОБРАВАЊА, ИЗРАДЕ И ПРЕДАЈЕ ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

Предметна дисертација је пријављена 06.06.2018. године. Одлуком Наставно-научног већа Грађевинског факултета одлуком бр. 225/2 од 15.06.2018. године, са седнице одржане 14.06.2018. године, одређена је Комисија за пријем теме предметне докторске дисертације, у саставу:

1. Проф. др Иван Алексић, дипл. инж. геод., Универзитет у Београду, Грађевински факултет - коментор;

2. В.проф. др Марко Пејић, дипл.инж.геод, Универзитет у Београду, , Грађевински факултет - коментор;
3. Проф. др Тоша Нинков, дипл. инж. геод., (Факултет техничких наука, Универзитет у Новом Саду).

Комисија је поднела Извештај о пријему теме 11.07.2018. године и исти је прихваћен на седници Наставно-научног већа одржаној 13.09.2018 године.

На основу одлуке Већа научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду број 225/7 од 27.09.2018. године, одобрен је рад на дисертацији.

Кандидат **Корнелија Кљечанин**, маг. инж.геодез. предала је Студентској служби Грађевинског факултета докторску дисертацију 04.05.2026. године, у потребном броју примерака. Дана 15.04.2026. године у електронску архиву Универзитетске библиотеке депонована је докторска дисертација која је технички подобна за проверу оригиналности.

Коментор кандидата, проф. др Иван Алексић, дипл. инж. геод., професор у пензији Грађевинског факултета Универзитета у Београду, је замолио да не учествује у даљој процедури оцене и одбране дисертације због одласка у пензију. Проф. др Тоша Нинков, дипл. инж. геод., са Факултета техничких наука Универзитета у Новом Саду, преминуо је пре предаје докторске дисертације.

2 БИОГРАФИЈА КАНДИДАТА

2.1 Образовање и усавршавање

Корнелија Ристић је рођена 01.01.1988. године у Добоју, Република Српска (БиХ). Основну школу "Петар Петровић Његош" завршила је 2003. године у Теслићу, као носилац дипломе "Вук Караџић". Након завршене основне школе уписала је гимназију у Теслићу, СМШ "Јован Дучић", коју је завршила 2007. године са одличним успехом.

Грађевински факултет Универзитета у Београду, студијски програм Геодезија и геоинформатика, уписала је школске 2007/2008. године. Основне академске студије на Одсеку за геодезију и геоинформатику завршила је школске 2009/2010. године са просечном оценом 9,35 (девет и 35/100). Синтезни рад под називом „Изравнање 3Д геодетске мреже за потребе израде Главног пројекта локалног пута“ одбранила је дана 25.10.2010. године са оценом 10 (десет) чиме је стекла звање инжењер геодезије. Школске 2010/2011. године уписала је дипломске академске – мастер студије на Грађевинском факултету Универзитета у Београду, модул Геодезија. Мастер академске студије завршила је школске 2011/2012. године са просечном оценом 9,67 (девет и 67/100). Мастер рад под називом „Решавање проблема изравнања сингуларном декомпозицијом матрице система линеарних једначина“ одбранила је дана 06.06.2012. године са оценом 10 (десет) чиме је стекла звање мастер инжењер геодезије. Школске 2012/2013. године Корнелија Ристић је уписала докторске студије на Одсеку за геодезију и геоинформатику Грађевинског факултета Универзитета у Београду. На докторским студијама је успешно положила све испите предвиђене наставним планом и програмом са просечном оценом 9,88 (десет и 88/100).

Током докторских студија похађала је курс „Просторне анализе у open-source ГИС окружењу: R+SAGA“ одржан у фебруару 2013. године на Грађевинском факултету Универзитета у Београду и радионицу "Contributing European Location Framework, Credible

Source of PanEuropean Datasets and Web Services" одржану 11-13. новембра 2015. године у Бањој Луци. Била је стипендиста Министарства просвете и културе Републике Српске школске 2013/2014 и 2014/2015. У 2018. године учествовала је у својству сарадника на пројекту "Привредна основа за риболовачко подручје Брчко дистрикта БиХ".

2.2 Рад и напредовање у струци

Од октобра 2013. године запослена је на Архитектонско-грађевинско-геодетском факултету Универзитета у Бањој Луци као асистент на предметима: Технике геодетских мерења 1, Технике геодетских мерења 2, Геодетски премер 1, Геодетски премер 2, Физичка геодезија и Практична настава из геодетског премера. У школској 2016/2017., поред претходно наведених предмета, изводила је вежбе и на предметима Рачун изравнања 1, Рачун изравнања 2, Рачун изравнања 3 и Геодетски премер 3. У звање вишег асистента је изабрана 26. јануара 2017. године, и изводи вежбе на предметима: Технике геодетских мерења 1, Технике геодетских мерења 2, Геодетски премер 1, Геодетски премер 2 и Практична настава из геодетског премера.

3 ТЕХНИЧКИ ОПИС ДОКТОРСКЕ ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1 Глобални садржај дисертације са спецификацијом њених елемената

Докторска дисертација Корнелије Кљечанин, маг.инж.геодез., под насловом "Оптимизација геометрије терестричког ласерског скенирања" садржи укупно 98 страна, од којих основни текст има 79 страна (почевши од првог поглавља, без садржаја и литературе). У оквиру дисертације дате су 31 слика и 20 табела. Дисертација не садржи прилоге. На крају дисертације налази се седмо поглавље са списком цитиране литературе, који садржи 49 библиографских наслова, страних и домаћих наслова.

Рад се састоји од следећих делова:

Ментор и чланови комисије

Захвалност

Сажетак на српском језику

Апстракт на енглеском језику

Списак скраћеница

Списак слика

Списак табела

Садржај

1. Увод – опис проблема
2. Теоријске основе прикупљања просторних података терестричким ласерским скенерима
3. Теоријске основе и методологија оптимизације у планирању терестричког ласерског скенирања
4. Примјена модела оптимизације геометрије ТЛС мреже на згради Архитектонско-грађевинско-геодетског и Шумарског факултета Универзитета у Бањој Луци

5. Нумеричка анализа и експериментална провјера методологије оптимизације ТЛС
6. Закључак и препоруке за даље истраживање
7. Литература

Биографија аутора

Као што је претходно и наведено, поглавља од 1 до 6 чине основни текст докторске дисертације и дата су на 79 страна.

3.2 Структура дисертације

Рад је организован у 6 поглавља, укључујући уводно и закључно поглавље. Друго поглавље садржи општа теоријска разматрања и анализе везане за основе прикупљања просторних података терестричким ласерским скенерима. Треће поглавље садржи основе и опис методологије оптимизације код планирања терестричког ласерског скенирања (ТЛС). Четврто поглавље садржи приказ и анализу примене предложене методологије за оптимизацију терестричког ласерског скенирања на конкретном објекту - згради Архитектонско-грађевинско-геодетског и Шумарског факултета Универзитета у Бањој Луци. Пето поглавље дисертације садржи анализу и експерименталну проверу предложене методологије оптимизације ТЛС. Шесто поглавље садржи закључна разматрања и препоруке за даља истраживања.

У наставку следи детаљнији преглед садржаја дисертације по поглављима.

Уводно поглавље садржи кратак опис методе ТЛС и основне претпоставке за успешну реализацију самог снимања и претпоставке за обезбеђивање захтеване тачности. Поред тога, у овом поглављу су дати основни елементи из пријаве теме докторске дисертације који се односе на предмет истраживања, циљеве и полазне хипотезе истраживања, претходна истраживања и очекиване резултате и научни допринос докторске дисертације.

Кандидат у првом делу овог поглавља наводи да је квалитет ТЛС условљен карактеристикама терестричког ласерског скенера, карактеристикама површи објекта који се скенира, условима околине током скенирања (атмосферски услови и вибрације) и геометријом скенирања (упадни угао ласерског зрака и растојање до објекта). Наведено је и да у оптимизацији процеса ТЛС важну улогу има избор скенера одговарајућих мерних карактеристика, као и да се на карактеристике површине објекта који се скенира не може директно утицати. Наглашен је значај метеоролошких фактора, као што су атмосферски притисак, влажност и температура ваздуха. Коначно, наглашава се значај геометрије скенирања као параметара на који је могуће највише утицати у фази планирања. У наставку овог дела уводног поглавља даје се кратак опис саме методе ТЛС, њене основне карактеристике, примене и однос са геодетским методама прикупљања података које се заснивају на коришћењу традиционалних геодетских мерних инструмената.

У наставку поглавља следи **опис предмета истраживања**. Истакнуто је да „*планирање скенирања представља кључну фазу геодетских радова, која се може формулисати као проблем математичке оптимизације, у којем се тежи проналажењу најбољег рјешења у оквиру унапријед дефинисаних услова и ограничења*“. Наводи се да је потребно, поред потпуног скенирања објекта, обезбедити и довољан преклоп између суседних облака тачака ради поуздане регистрације, као и повољне геометријске услове који директно утичу на квалитет резултата. Истовремено, треба тежити „*смањењу укупног броја станица ТЛС и скенерских сигнала, односно рационализацији времена и трошкова извођења радова, без нарушавања квалитета резултата*“. Кандидат закључује да ово подразумева одређивање

оптималног броја и распореда станица ТЛС, уз обезбеђивање потпуног скенирања објекта и довољног преклопа између суседних облака тачака, као и повољне геометријске услове скенирања. Наводи се да, поред распореда станица, значајан утицај на квалитет регистрације има и избор и распоред скенерских сигнала. Кандидат на крају закључује да *„Иако проблем оптимизације може бити сложен, уз јасно дефинисан циљ и остављена ограничења могуће је формулисати одговарајући математички модел и примјеном оптимизационих метода одредити најповољније рјешење у оквиру дефинисаног скупа услова. Сходно наведеном, задатак планирања ТЛС снимања формулише се као вишекритеријумски оптимизациони проблем“.*

У наставку уводног поглавља дати су **циљеви и полазне хипотезе истраживања**. Кандидат наводи: *„Основни циљ дисертације је развој модела за оптимизацију геометрије мреже станица терестричког ласерског скенирања и скенерских сигнала, којим се доказује да је могуће постићи повећање тачности регистрације облака тачака уз истовремено смањење броја станица ТЛС и скенерских сигнала, обима теренске припреме и времена обраде података“.*

У оквиру овог основног циља кандидат је идентификовао и више посебних циљева:

- *Анализа постојећих приступа у пројектовању ТЛС мрежа и идентификација њихових ограничења.*
- *Формулисање математичког модела вишекритеријумске оптимизације геометрије ТЛС мреже са јасно дефинисаним критеријумским функцијама и ограничењима.*
- *Дефинисање функционалних и геометријских услова који обезбеђују потпуно скенирање објекта, довољан преклоп облака тачака, повољан упадни угао ласерског зрака, правилан просторни распоред скенерских сигнала.*
- *Испитивање утицаја распореда станица ТЛС и скенерских сигнала на тачност регистрације облака тачака.*
- *Верификација предложеног модела кроз нумеричке симулације и експериментална мјерења.*

Прва полазна хипотеза истраживања је да *„интеграција допустиве области постављања терестричког ласерског скенера (пресјек зоне повољних вриједности упадног угла ласерског зрака и зоне препрека у непосредној близини објекта) и критеријума квалитета 3Д геодетске мреже може бити примјењена у оптимизацији мреже станица ТЛС и скенерских сигнала“.* **Друга полазна хипотеза** је да се *„Значајно побољшање квалитета регистрације облака тачака може постићи интегрисањем ограничења 3Д ласерског скенирања - као што су максимална дозвољена вриједност упадног угла ласерског зрака, услов потпуног скенирања објекта и минималан преклоп сусједних облака тачака - са критеријумима квалитета тродимензионалних геодетских мрежа“.*

У наставку уводног поглавља следи кратак опис претходних истраживања (само страна и по текста). Обухваћена су истраживања која се баве анализом и моделовањем утицаја разних параметара на тачност резултата ТЛС-а, као и истраживања која су се бавила проблемом одређивања оптималног броја и распореда станица ТЛС и скенерских сигнала. Кандидат наводи да су се та истраживања углавном бавила планирањем које је спровођено у хоризонталној равни, да неки приступи нису узимали у обзир преклоп између суседних облака тачака, техничке спецификације објекта, стохастички модел скенирања или да занемарују препреке изван објекта.

На крају уводног поглавља дати су очекивани **резултати и научни допринос докторске дисертације**. Наглашена је потреба *„за свеобухватним приступом који ће омогућити*

истовремену оптимизацију броја и распореда станица ТЛС и скенерских сигнала у реалним условима“, те да је истраживање усмерено управо у том правцу. Кандидат истиче да је **први научни допринос дисертације** „увођење концепта допустиве области постављања терестричког ласерског скенера у процес 3Д оптимизације броја и локација станица ТЛС“, а да је **други научни допринос** „интеграција принципа класичног 3Д геодетског пројектовања мреже у процес оптимизације терестричког ласерског скенирања“.

Друго поглавље дисертације садржи теоријске основе прикупљања просторних података терестричким ласерским скенерима. У првом делу поглавља дају се основе саме методе, кратак историјат њене примене и слично. У наставку су објашњене основне компоненте терестричких ласерских скенера и основне карактеристике неких комерцијалних уређаја за примене у инжењерству. Дати су и основни принципи одређивања растојања и рада ласерских скенера. Обрађене су и математичке основе самог скенирања, као и математички модели и различите методе регистрације и геореференцирања облака тачака. Реч је о тексту који је мање-више стандардни део уџбеничке литературе из ове области.

Треће поглавље дисертације садржи теоријске основе и методологију оптимизације у планирању ТЛС-а. На почетку овог поглавља кандидат наводи: „Оптимизација геометрије ТЛС мреже, обухватајући станице ТЛС и скенерске сигнале, формулисана је као проблем вишекритеријумске оптимизације са ограничењима, при чему вектор одлуке садржи координате свих станица и сигнала“. У наставку текста, кандидат разматра математички модел вишекритеријумске оптимизације геометрије ТЛС мреже, полазећи од претпоставке да је „математички модел оптимизације броја и распореда станица ТЛС и скенерских сигнала заснован на функционалној зависности између поларних и правоуглих координата“, те да се оптимизациони приступ заснива на математичком моделу посредног изравнања. Даље, кандидат појашњава да су: „У оквиру оптимизационог модела, критеријумске функције дефинисане на основу показатеља квалитета 3Д геодетске мреже, док су технолошка ограничења ТЛС система (гранична вриједност упадног угла, минимални степен преклопа облака тачака и потпуна покривеност објекта), као и прописане граничне вриједности показатеља квалитета, уведени као ограничења у простору одлука и простору критеријумских функција“. У наставку, кандидат дефинише и одговарајуће критеријумске функције за поступак оптимизације. Ове функције се односе на коефицијент унутрашње поузданости, полуосе елипсоида грешака и моћ детекције грубих грешака. У тексту се затим разматрају три фазе оптимизације геометрије ТЛС мреже: „(1) дефинисање допустиве области постављања терестричког ласерског скенера, (2) одређивање оптималног броја и оптималних локација станица ТЛС и (3) одређивање оптималног броја и оптималних локација скенерских сигнала“. Дате су формуле за модел посредног изравнања (матрица дизајна, матрица поузданости опажања, вредности дужина и углова праваца за полуоса елипсоида грешака на тачкама ТЛС мреже, итд.).

Четврто поглавље дисертације бави се анализом примене предложеног модела оптимизације геометрије ТЛС на конкретном објекту – згради Архитектонско-грађевинско-геодетског и Шумарског факултета универзитета у Бањој Луци. Кандидат прво објашњава начин дефинисања допустиве области за постављање станица ТЛС за одабрани објекат скенирања водећи рачуна о препрекама и конфигурацији објекта, али и о упадном углу ласерског зрака. Кандидат поступак дефинисања допустиве области разлаже на два корака. Први је „дефинисање линије највећег удаљења инструмента од објекта за несметано скенирање“, где се узимају се у обзир препреке које омогућавају највеће удаљење од објекта. Други корак је „дефинисање линије највећег приближења инструмента објекту“, где се узима у обзир упадни угао ласерског зрака, тј. његов утицај на квалитет одређивања координата тачака на објекту. Затим кандидат објашњава поступак одређивања оптималног броја и локација станица ТЛС за скенирање одабраног објекта. Станице ТЛС-а треба

распоредити унутар допустиве области постављања скенера распореде тако да се задовоље следећи услови: (1) да се минимизира број станица, (2) да се обезбеди степен преклапања суседних облака тачака од најмање 20%, (3) да се не наруше ограничења која се односе на минималан и максималан домет скенера и (4) да објекат буде скениран у потпуности. Затим кандидат прелази на одређивање оптималног броја и локација скенерских сигнала за скенирање одабраног објекта. Наводи да је скенерске сигнале на објекту потребно равномерно распоредити по целој површини објекта, као и на терену у непосредној близини објекта. При томе је неопходно обезбедити да су ти сигнали видљиви са најмање две станице ТЛС и да не буду колинеарно распоређени. Указано је и на то да треба водити рачуна и о броју сигнала на преклопима више облака тачака добијених са различитих станица ТЛС, а да би се обезбедила поуздана регистрација тих облака тачака. И за станице ТЛС и за сигнале у тексту је дат њихов оптимални број и 2Д приказ њиховог распореда. У наставку, кандидат даје само коначне резултате оптимизације ТЛС мреже у виду координата тачака мреже (станице ТЛС и скенерски сигнали) и критеријума тачности и поузданости (дефинисани у трећем поглављу). Наводи да је оптимизација вршена итеративно, користећи критеријумске функције за оптимизацију који су дефинисани у трећем поглављу.

Пето поглавље је посвећено нумеричкој анализи и експерименталној провери предложене методологије оптимизације геометрије ТЛС. Верификација методологије је извршена за две стране зграде на чијем је примеру у поглављу четири анализирана примена те методологије. Скенирање те две стране зграде изведено је терестричким ласерским скенером *Faro FocusM 70*. Пре самог скенирања кандидат образлаже процес избора оптималног броја и распореда станица ТЛС и скенерских сигнала. Број и распоред станица ТЛС преузет је из четвртог поглавља дисертације, док је број и распоред сигнала измењен да би био прилагођен другачијем типу сигнала (сферни сигнал) од оних који су иницијално планирани. Накнадно је промењен и положај једне станице ТЛС. У наставку поглавља дате су коначне приближне координате мреже ТЛС и вредности разматраних критеријума тачности и поузданости. Пре преласка на опис самог експеримента (скенирања) кандидат наводи да „*добијено рјешење представља оптималну конфигурацију у оквиру анализираног допустивог скупа, при чему су истовремено задовољена сва дефинисана ограничења терестричког ласерског скенирања (максимална дозвољена вриједност упадног угла, минимални степен преклопа облака тачака и потпуна покривеност објекта) и разматрани критеријуми квалитета 3Д геодетске мреже*“. Скенирање зграде обављено је коришћењем четири плана скенирања. Први план је подразумевао конфигурацију ТЛС мреже која је дефинисана на основу искуства. Други план је подразумевао конфигурацију ТЛС мреже која је дефинисана применом методологије предложене у поглављима четири и пет. Трећи план скенирања подразумева конфигурацију ТЛС мреже која је настала редукацијом броја скенерских сигнала у односу на други план и то тако да на преклопу суседних облака тачака буду два сигнала уместо три. Четврти план скенирања је користио конфигурацију ТЛС мреже из трећег плана, уз комбиновану резолуцију скенирања, а све с циљем анализе утицаја различите резолуције и смањења минималног броја скенерских сигнала на преклопу суседних облака на тачност регистрације. У наставку је дат преглед параметара за све реализоване планове скенирања: број станица, број сигнала по типу, време потребно за припрему, скенирање и регистрацију облака тачака у софтверу. За трећи и четврти план скенирања дати су табеларно и разматрани критеријуми квалитета 3Д мреже ТЛС: коефицијенти унутрашње поузданости, количник маргиналне грубе грешке и варијансе планираних опажања, као и полуосе елипсоида грешака. Дате су и табеле са средњим вредностима свих одступања између парова одговарајућих тачака у преклопу два облака тачака за сва четири плана скенирања, и то за регистрацију облака тачака типским скенерским сигналима и комбиновањем две методе (регистрација типским скенерским

сигналима + *Cloud to Cloud* метода регистрације). Један од закључака кандидата у овом поглављу је да анализа добијених резултата показује да је тачност регистрације за други, трећи и четврти план скенирања значајно већа у односу на први план.

Шесто поглавље дисертације садржи закључак и препоруке за даље истраживање. Кандидат наводи: „У дисертацији је предложена 3Д оптимизација геометрије терестричког ласерског скенирања. Оптимизација је обухватила одређивање оптималног броја и распореда станица ТЛС, као и броја, врсте и распореда скенерских сигнала за регистрацију сусједних облака тачака. Планирање је спроведено у тродимензионалном координатном систему, при чему је, поред распореда станица ТЛС и скенерских сигнала у хоризонталној (2Д) равни, укључена и вертикална компонента, односно висина објекта.“ Даље се наводи да је формулисан математички модел вишекритеријумске оптимизације. При томе „У предметном истраживању вишекритеријумски приступ се не заснива на избору најповољније алтернативе из унапријед дефинисаног дискретног скупа варијантних рјешења, што је чест приступ у класичним геодетским моделима вишекритеријумског одлучивања“. Кандидат наводи да је скуп могућих конфигурација ТЛС мреже дефинисан као континуалан допустиви простор станица ТЛС и скенерских сигнала, унутар којег се варирањем њихових координата спроводи поступак оптимизације. При томе, кандидат наглашава „да у оквиру спроведеног истраживања није доказиван глобални оптимум у строгом математичком смислу, нити је вршена потпуна претрага простора свих могућих конфигурација мреже станица ТЛС и скенерских сигнала“. Кандидат поново закључује да **први научни допринос дисертације** представља увођење концепта допустиве области постављања терестричког ласерског скенера у процес 3Д оптимизације броја и локација станица ТЛС. По кандидату, **други научни допринос дисертације** огледа се у интеграцији принципа класичног 3Д геодетског пројектовања мреже у процес оптимизације терестричког ласерског скенирања. Кандидат прецизира: „Ограничења 3Д ласерског скенирања, као што су максимална дозвољена вриједност упадног угла ласерског зрака, услов потпуног скенирања објекта и минималан преклоп сусједних облака тачака, заједно са критеријумима квалитета тродимензионалних геодетских мрежа, интегрисана су у јединствен оптимизациони поступак с циљем одређивања оптималног броја и локација станица ТЛС и скенерских сигнала, уз уважавање присуства препрека у непосредној близини објекта и техничких карактеристика скенера“. На основу спроведеног експеримента кандидат закључује да ће обе стране објекта бити скениране у потпуности са најмање 40% преклопа између суседних облака тачака. Такође, кандидат закључује и да „резултати показују да предложена методологија оптимизације може значајно смањити број потребних станица скенера за потпуно скенирање објекта и укупан број скенерских сигнала за поуздану регистрацију свих сусједних облака тачака, истовремено унапређујући квалитет регистрације облака тачака и скраћујући вријеме теренских радова“. Кандидат закључује и да је „анализа допустиве области постављања станица ТЛС показала да при граничним упадним угловима од 65°, 70° и 75° није могуће обезбиједити потпуно скенирање објекта односно распоредити станице ТЛС тако да буде скенирана цијела зграда“. Кандидат указује и да је истраживање указало на значај утицаја двоосног компензатора нагиба оса на квалитет регистрације облака тачака када се минимални број скенерских сигнала на преклопу редукује са три на два, али и да то треба додатно испитати за потпуну процену тог утицаја. По кандидату, унапређење истраживања могло би се постићи и предлогом избора терестричког ласерског скенера оптималних мерних карактеристика узимајући у обзир специфичности предмета скенирања (комплексност конструкције и димензије објекта, препреке у непосредној близини објекта и сл.) и захтеве пројекта у погледу тачности. Коначно, кандидат сматра да даља истраживања могу бити усмерена ка аутоматизацији поступка генерисања и вредновања већег броја могућих конфигурација

ТЛС мреже унутар дефинисаног допустивог скупа, као и на примене модела на сложеније просторне системе (индустријска постројења, урбани блокови, објекти културног наслеђа). После закључака, дат је списак литературе (седмо поглавље) од 48 наслова и једне интернет адресе.

4 АНАЛИЗА ДОКТОРСKE ДИСЕРТАЦИЈЕ

4.1 Проблем и предмет истраживања

У пријави теме дисертације кандидат је проблем и предмет истраживања образложио на следећи начин: „Тачке стајалишта скенера и скенерски сигнали који се постављају изван објекта повезују мерења и тако чине геодетску контролну мрежу објекта снимања. Контролна геодетска мрежа мора бити пројектована тако да се узму у обзир ограничења од значаја за квалитет процеса терестричког ласерског скенирања. Она треба да обезбеди датум, тачност и контролу података скенирања“. Даље кандидат у пријави наводи да је „неопходна оптимизација геодетских радова, која је посвећена изучавању математичких модела оптимизације, са циљем проналажења најбољих решења за математички дефинисане геодетске проблеме у фази планирања и пројектовања геодетских радова са више аспеката, и то по тачности, поузданости, осјетљивости на деформације, економичности и других значајних аспеката у геодетској пракси“. У наставку, кандидат ово даље конкретизује на проблем планирања процеса скенирања наводећи да ту мора да се води рачуна о: (1) захтевима пројекта; (2) временском ограничењу за извођење радова; (3) подручју или објекту од интереса; (4) нивоу детаљности прикупљања података; (5) димензији објекта и димензији карактеристичног облика на објекту; (6) најкраћем растојању до објекта; (7) резолуцији скенирања; (8) тачности појединачне тачке у облаку тачака; (9) тачности 3Д модела.

Дакле, на основу изнетог, може се јасно истаћи да се истраживање фокусира на планирање процеса терестричког ласерског скенирања (ТЛС), а на основу самог наслова докторске дисертације, а касније и других констатација из пријаве теме дисертације, конкретно на оптимизацију геометрије ТЛС.

4.2 Циљ, задаци и полазне хипотезе истраживања

4.2.1 Циљ истраживања

На основу пријаве теме кандидата, „генерални циљ дисертације је да се планира процес терестричког ласерског скенирања тако да параметри од значаја за мерни процес буду оптимизовани“. Као и тексту саме дисертације, кандидат и у пријави теме наводи да је „квалитет терестричког ласерског скенирања условљен са четири основна параметра: (1) мерним карактеристикама терестричког ласерског скенера (домет, тачност мерења дужине, тачност хоризонталног и вертикалног отклона ласерског зрака), (2) карактеристикама површи објекта који скенирамо (степен рефлективности површи), (3) условима околине током скенирања (атмосферски притисак, влажност и температура ваздуха, вибрације) и (4) геометријом скенирања (упадни угао ласерског зрака и растојање до објекта)“.

Кандидат се у свом истраживању, али донекле и у самој пријави теме, углавном фокусирао на последњи параметар, тј. на геометрију скенирања. Кандидат то оправдава претпоставком/тврђом да је „утицај геометрије скенирања далеко теже оцијенити, те захтева виши ниво знања и разумевања процеса терестричког ласерског скенирања. Са друге стране, геометрија скенирања је фактор на који је могуће највише утицати.“ При томе, наводи и да „геометрија скенирања подразумева положај стајалишта скенера, распоред и тип скенерских сигнала изван објекта и распоред скенерских сигнала на објекту. Ретке су ситуације у којима је могуће скенирати подручје од интереса са само једног стајалишта. Стога, саставни дио планирања процеса терестричког ласерског скенирања је налажење оптималног броја и положаја стајалишта скенера.“

У наставку пријаве теме, кандидат наводи и следеће жељене циљеве:

- 1) *Добра места стајалишта скенера, (што подразумева испуњење захтева да се објекат снимити у потпуности, повољне упадне углове ласерског зрака, одговарајући преклоп између облака тачака, минималан број стајалишта скенера и др.);*
- 2) *Добра геометрија геодетске контролне мреже, (што подразумева добар распоред и догледање тачака у мрежи, повољне упадне углове ласерског зрака);*
- 3) *Оптимална прецизност мерења и мреже, (оптималне тежине опажсања, задовољење критеријума и ограничења која се тичу прецизности);*
- 4) *Оптимална поузданост мерења и мреже, (задовољење критеријума и ограничења која се тичу поузданости);*
- 5) *Оптимална моћ тестова, (за контролу одскачућих резултата, за адекватност модела објекта, за контролу промене геометрије објекта и сл.), и*
- 6) *Оптимална тачност модела објекта.*

Из текста пријаве теме није баш најјасније да ли су ово циљеви које треба остварити у оквиру истраживања, или само циљеви који се желе остварити применом методологије за оптимизацију геометрије ТЛС која ће бити развијена у оквиру истраживања.

4.2.2 Задаци истраживања

У пријави теме, кандидат наводи да „задаци истраживања проистичу из постављених циљева истраживања и обухватају:

- *дефинисање проблема истраживања,*
- *прикупљање, систематизација и анализа претходних истраживања у области извора и утицаја случајних грешака које се јављају приликом прикупљања података коришћењем терестричког ласерског скенера,*
- *писање рачунарских програма за имплементацију карактеристичних модела оптимизације у оквиру Matlab софтверског окружења,*
- *планирање и спровођење експеримената у оквиру којих би на терену били прикупљени подаци који би омогућили вредновање (оптималан избор) карактеристичних модела оптимизације,*
- *обраду и анализу добијених резултата са вредновањем карактеристичних модела оптимизације примјеном тестова математичке статистике,*
- *извођење закључака о применљивости карактеристичних модела оптимизације за потребе планирања извођења терестричког ласерског скенирања,*

- *приједлози за даља истраживања у овој области.*“

4.2.3 Полазне хипотезе

За решавање ученог проблема и остваривање постављених циљева и предмета истраживања кандидат је поставио четири радне хипотезе, и то:

- *Геометрија геодетске контролне мреже, положаји стајалишта скенера и распоред сигнала на објекту имају велики утицај на тачност и поузданост параметара који су од значаја за истраживани модел објекта.*
- *Поуздана мерења и поуздана контролна мрежа обезбјеђују поузданост тражених параметара, тј. модела објекта.*
- *На тачност и поузданост параметара велики утицај има моћ тестова који се примјењују.*
- *Упадни угао ласерског зрака такође има велики утицај на тачност тражених параметара.*

4.3 Предложене научне методе

Кандидат је у пријави теме докторске дисертације навео да се у оквиру истраживања планира примена више, по речима кандидата, *”опитих”* научних метода *„међу којима су најзначајније експериментална метода, метода моделирања, статистичка метода, методе сферне статистике, 3Д графови, вишекритеријумска оптимизација, линеарно програмирање и метода анализе и синтезе“*.

Поред ових метода, кандидат у пријави теме наводи и следеће: *„Прикупљање података на терену подразумева примену 3Д поларне методе мерења. Предвиђена је примена научних метода специфичних за област која је предмет истраживања, оцена највероватнијих вредности непознатих параметара методом најмањих квадрата, као и одређивање грешака функција на основу Гаусовог закона о преносу грешака“*.

4.4 Научна оправданост дисертације, очекивани резултати и практична примена

Кандидат је у пријави навео да ће *„предложено научно истраживање обухватити синтезу досадашњих резултата и даљу анализу на пољу методологије оптимизације како би се унапредио процес снимања инжењерских објеката терестричким ласерским скенерима. У свету до данас постоји неколико научних радова у којима је представљена математичка анализа појединих аспеката мерног процеса којима би се могао побољшати квалитет снимања терестричким ласерским скенерима. Очекивани допринос ове дисертације је дефинисање различитих модела оптимизације, као и вредновање карактеристичних модела над експерименталним подацима.“*

4.5 Оцена докторске дисертације

На основу прегледа рада, Комисија у даљем тексту даје критичку анализу садржаја дисертације. Прво су дате опште примедбе, а затим примедбе по поглављима.

4.5.1 Опште примедбе

У пријави теме као проблем и предмет истраживања наводи се да је за планирања важно дефинисати: 1) захтеве пројекта, 2) временско ограничење за извођење радова, 3) подручје или објекат од интереса, 4) ниво детаљности прикупљања података, 5) димензије објекта и димензије најмање карактеристичног облика на објекту, 6) најкраће растојање до објекта, 7) најмање растојање између тачака - резолуције скенирања 8) тачност појединачне тачке у облаку тачака 9) тачност 3Д модела.

Приликом израде дисертације већина од наведених параметра нису разматрани, односно дефинисани као улазни подаци приликом оптимизације.

Једна од основних карактеристика решавања вишекритеријумских проблема је добијање више алтернатива (решења) и коначни избор решења. У дисертацији је приказано само коначно решење. У експерименталном делу нису јасно дефинисани параметри верификације модела на основу обављених мерења.

У дисертацији има доста грешака које се односе на реферисање на поједине формуле и делове текста. На пример: У неким формулама има грешака код коришћења ознака (страна 35, користи се ознака P_p уместо P_ρ). Нумерација формула се не слаже са њиховим реферисањем (позивањем) у тексту. Рецимо, на страни 32, у тексту се кандидат реферише на ограничење (3.6-1), уместо на ограничење (3.5-1). Слично важи и за реферисање на ограничења 3.6 на странама 33, 39, 41, 45 и 65, као и за реферисање на ограничења 3.8 на странама 38, 39 и 65. Има још страна у тексту где се ово погрешно реферисање на поменуте формуле понавља. Такође, на странама 35, 52 и 61 кандидат се погрешно реферише на изразе (3.11), (3.12) и (3.13), уместо на изразе (3.10), (3.11) и (3.12). Ово се такође понавља на још неким странама. На страни 64 кандидат се погрешно реферише на изразе (3.20), (3.21) и (3.22), уместо на изразе (3.19), (3.20), (3.21). На страни 61, погрешно је реферисање на Табелу 5-7 и Табелу 5-8, а треба на Табелу 5-6 и Табелу 5-7. Ова погрешна реферисања отежавају читање дисертације.

На трећој страни предате докторске дисертације кандидат је унапред навео чланове комисије за преглед и оцену, прејудуцирајући тиме састав комисије.

Генерално, обим докторске дисертације указује да кандидат није обухватио и детаљно разматрао све важне аспекте истраживања, посебно имајући у виду обим теоретског поглавља, значајан број слика и табела са подацима интегрисаним у сам текст дисертације. Индикативно је и да дисертација не садржи прилоге, иако само истраживање подразумева и експеримент и обраду података.

4.5.2 Примедбе по поглављима

У поглављу 1 кандидат већ у првом параграфу наводи “*Међутим, употреба терестричких ласерских скенера је још увијек релативно ограничена. Иако је процес снимања терестричким ласерским скенерима значајно аутоматизован, накнадна обрада података је захтјевнија, дуготрајнија и комплекснија. Затим, примјена терестричког ласерског скенирања у другим инжењерским областима није у потпуности имплементирана*”. Ови наводи нису даље поткрепљени неким чињеницама и није баш најјасније који је конкретно смисао ових навода, посебно имајући у виду широку распрострањеност примене ласерског скенирања у пракси и високу ефикасност методе. Овакви општи наводи се појављују и на другим местима у дисертацији.

Посебни циљеви истраживања наведени у пријави теме и у поглављу 1.2 докторске дисертације значајно се разликују до нивоа да их је уопште тешко и упоређивати.

У поглављу 1.4. као Први научни допринос наводи се увођење концепта допустиве области постављања станица ТЛС у односу на објекат, који је је више него тривијално решење, које је присутно у већини ГИС софтвера (функције бафера - зонирања). С друге стране, није јасно како једно здраворазумско решење уопште може да се третира као научни допринос.

Имајући у виду обим докторске дисертације (79 страна основног текста, поглавља 1 до 6) **поглавље 2** је непотребно опширно (20 страна) и садржи делове текста који нису релевантни за само истраживање. На пример, карактеристике појединих скенера, основни принципи одређивања растојања код терестричких ласерских скенера, систем за дивергенцију ласерског снопа и одређивање вредности правца, и слично.

У **поглављу 3** кандидат полази од претпоставке да се проблем оптимизације геометрије ТЛС мреже, тј. избора броја и распореда станица ТЛС и броја и распореда скенерских сигнала може решити применом вишекритеријумске оптимизације, тј. развојем математичког модела вишекритеријумске оптимизације геометрије ТЛС мреже (поглавље 3.1). Међутим, кандидат нигде не уводи тежине за дефинисане критеријумске функције (изрази 3.6 на страни 30). Нејасно је и зашто кандидат вредност упадног угла дефинише као ограничење (страна 29, израз 3.5-1), а не као параметар који би такође требао да буде предмет оптимизације. Поред тога, кандидат на страни 31 наводи: „Претходно дефинисане критеријумске функције и ограничења интегрисани су у јединствен математички модел вишекритеријумске оптимизације геометрије мреже станица ТЛС и скенерских сигнала, који омогућава одређивање оптималне конфигурације мреже варирањем координата унутар дефинисаног допустивог скупа“. У наставку текста докторске дисертације показале се да модел није јединствен и интегрисан и да ће поједине фазе оптимизације бити изоловане једна од друге, при чему ће нека решења бити тражена на мање-више недефинисан, тј. произвољан начин. На пример, број и распоред станица ТЛС, као и скенерских сигнала одређује се на нејасан начин и то се, по свој прилици, ради на основу знања, искуства и вештина онога ко ради план скенирања. Дакле, сам начин избора броја и локација станица ТЛС и скенерских сигнала, што је управо и циљ саме оптимизације у дисертацији није дефинисан, осим неких назнака у виду упутстава и захтева. Рецимо, да се станице ТЛС бирају тако да се минимизира укупан број станица ТЛС, да те станице падају у допустиву област и да се са њима обезбеди захтевани преклоп суседних облака тачака. Слично, скенерски сигнали се распоређују тако да покривају подручје објекта и подручје у његовој непосредној близини, те да су ти сигнали видљиви са најмање две станице ТЛС и да нису колинеарни. Ово се једноставно може закључити на основу текста из поглавља 3.2.2 *Одређивање оптималног броја и локација станица ТЛС* и поглавља 3.2.3 *Одређивање оптималног броја и локација скенерских сигнала*, али ће ово бити потврђено и у поглављу 4 када се предложена методологија примени на конкретан објекат. Овакав приступ тешко да може да обезбеди оптимално решење постављеног проблема. Штавише, ово су и полазне претпоставке за оптимизацију ТЛС и нису нове ствари које су идентификоване током спроведеног истраживања.

У формули (3.4), страна 29, није јасно објашњено како је модел посредног изравњања повезан са ограничењима и критеријумским функцијама? Услов $R^t x = 0$ је нејасан. Матрица унутрашње поузданости R има димензије $n \times n$. Како се то онда може множити вектором непознатих параметара x који има димензије $1 \times n$ и који је смисао тог множења?

Није јасно зашто је кандидат концепт анализе тачности и поузданости геодетских мрежа ставио у фокус оптимизације стајалишта ТЛС и скенерских сигнала. На пример, концепт поузданости заснован је на анализи утицаја геометрије мреже и прецизности мерења у циљу могућности идентификације грешке у појединачном мерењу (унутрашња поузданост), као и на анализу утицаја неоткривених грешака у појединачним мерењима на оцену непознатих

параметара. Шта је код скенирања појединачно мерење које би било оптерећено грешком, а чији утицај би имао негативан ефекат на оцену непознатих параметара? То би требала да буду мерења добијена терестричким ласерским скенирањем, али се у раду код оптимизације геометрије ТЛС разматрају само мерења у самој мрежи ТЛС (хоризонтални и вертикални углови и дужине). Другим речима, кандидат сматра да је за квалитет резултата ТЛС кључна геометрија мреже станица и сигнала ТЛС, а при томе занемарује аспекте као што су позиције и густина тачака из облака на самом објекту и мерења на основу којих се добијају координате ових тачака. Утицај тих мерења се свео само на упадни угао ласерског зрака и удаљеност од објекта што је искоришћено само за дефинисање допустиве области. Овако посматрано, оптимизација геометрије мреже ТЛС је сведена на стандардни задатак у геодезији – оптимизација геодетске 3Д мреже у којој се мере углови и дужине, а рачунају 3Д координате тачака мреже. Да подсетимо, кандидат је у пријави теме навео да је један од циљева оптимизације ТЛС и „*оптимална тачност модела објекта*“, али је овом аспекту ТЛС у истраживању посвећена врло ограничена, скоро минимална пажња.

Друго, у пријави теме кандидат за жељене циљеве модела оптимизације ТЛС наводи и следеће циљеве оптимизације: „*оптимална прецизност мерења и мреже*“, „*оптимална поузданост мерења и мреже*“, и „*оптимална моћ тестова*“. Овде скрећемо на неадекватност коришћења термина „*прецизност*“ коју кандидат, по свој прилици, у тексту дисертације често користи као синоним за термин „*тачност*“, што није исправно. Из текста дисертације није јасно како је кандидат оптимизовао моћ тестова у мрежи ТЛС.

Са друге стране, један од кључних захтева код примене ТЛС-а за *as-built* снимања је ниво детаљности (engl. *Level of Detail - LOD*), како је и кандидат навео (погледати опште примедбе – ниво детаљности прикупљања података). Ниво *LOD*-а је круцијалан код дефинисања обима посла, односно детаљности снимања, а тиме и броја и распореда стајалишта. Међутим, овоме у раду није посвећена довољна пажња.

Као што је то већ речено, у **поглављу 4** предложена методологија оптимизације геометрије ТЛС мреже примењена је на примеру ТЛС-а за конкретни објекат - зграду Архитектонско-грађевинско-геодетског и Шумарског факултета универзитета у Бањој Луци.

Једна од кључних примедби на истраживање спроведено у оквиру израде ове докторске дисертације односи се на то што је сама методологија оптимизације објашњена, примењена и верификована (ако је уопште и верификована) над само једним објектом. Сам објекат је такав да има вертикалне зидове, праве углове у основи објекта и релативно једноставне препреке око објекта (дрвеће на периферији око објекта). Дакле, поставља се питање применљивости предложене методологије на друге типове објеката са сложенијом конструкцијом (закривљене површине, површине које нису вертикалне, већ под нагибом и сл.), као и за конфигурације снимања са сложенијим или другачијим распоредом препрека око објекта. Комисија сматра да ово не би захтевало неку озбиљнију инвестицију у погледу ресурса. Довољно је било да кандидат предложену методологију примени над различитим типовима објеката и препрека око њих. Ово не би морали да буду реални објекти, већ добро осмишљени карактеристични случајеви са различитим типовима геометрија објеката и конфигурација препрека око њих. Рецимо, за проверу применљивости концепта допустиве области, довољно би било само да се ова област формира за ове карактеристичне случајеве, без обавезе да се ти објекти и разматрају и верификују у оквиру експерименталног дела рада, уз скенирање објекта и/или друге радове на терену, укључујући ту и обраду података.

Већ у поглављу 4.1 кандидат је направио озбиљан пропуст код дефинисања допустиве области постављања ТЛС за одабрани објекат, иако наводи да је управо концепт те допустиве области први научни допринос дисертације. Сам поступак дефинисања линије највећег удаљења инструмента од објекта за несметано скенирање (поглавље 4.1.1) је

прилично тривијалан, бар за конкретни објекат. Процедура се састоји у конструисању затвореног полигона спајањем тачка које представљају околно дрвеће које не дозвољавају постављање станица изван тог полигона. Међутим, код одређивања делова унутар тог полигона у којима није допуштено постављање станица ТЛС, јер би то проузроковало скенирање са упадним угловима који су већи од дозвољене граничне вредности, кандидат је направио озбиљан пропуст. Наиме, кандидат неосновано полази од претпоставке да један део фасаде на потпуно другом крају објекта треба да утиче на дефинисање допустиве области на другом крају објекта, иако ће ти делови објекта ионако бити снимани са различитих станица ТЛС које не морају да имају преклоп или га уопште неће имати. Ово се може лако закључити са слике 4-5, страна 45 дисертације, или са слике 4-9 на страни 50, где је део фасаде на потпуно левом крају објекта утицао на то да допустива област скенирања за десни део објекта буде изузетно мала. Наиме, облаци тачака са станице TLS3 и станице TLS1 највероватније немају преклоп и није јасно зашто део објекта који се снима са станице TLS1 уопште утиче на избор локације за станицу TLS3.

Поред наведеног, кандидат на страни 47, у тексту испод слике 4-7, неоправдано закључује да објекат није могуће снимити са максималним углом од 75° , иако би то само захтевало увођење још једне станице ТЛС-а. Управо на овом примеру се и види кључни недостатак у приступу за решавања проблема оптимизације. Да ли је увођење додатне станице боље решење од снижавања критеријума за максимални упадни угао, што и сам кандидат сматра кључним за постизање захтеване тачности одређивања координата тачака на објекту? Погрешним закључивањем, кандидат на страни 48 износи врло проблематичну констатацију: „*Иако се у релевантној литератури препоручује примјена мањих упадних углова ради постизања веће тачности мјерења, резултати овог истраживања указују да је у реалним условима скенирања, услед сложености геометрије објекта и просторних ограничења, њихова примјена често неизводива. Потпуно скенирање објекта остварено је тек при граничној вриједности упадног угла од 78°* “. Ово једноставно није тачно. Шта је оптимално решење, то је већ друго питање. Истраживање је управо тиме и требало да се бави.

Једна од кључних примедби на текст дисертације односи се свакако на одређивање оптималног броја и локација станица ТЛС за скенирање одабраног објекта, што је описано у поглављу 4.2. Иако је управо то предмет истраживања и циљ израде математичког модела оптимизације мреже ТЛС, кандидат у првом параграфу тог поглавља на страни 49 наводи да предложена методологија подразумева да се то ради тако што се „*унутар допустиве области постављања скенера распоређују станице ТЛС, тако да се минимизира број станица, да се обезбједи степен преклапања сусједних облака тачака од најмање 20% (ограничење (3.6-3)), да не буду нарушена ограничења која се односе на минималан и максималан диметр скенера ($d_{min} < d < d_{max}$) и да објекат буде скениран у потпуности (ограничење 3.6-2)*“. И овде се кандидат погрешно реферише на поменута ограничења – треба да буду (3.5-3) и (3.5-2), али је то мањи технички проблем. Кључно је што се овде не може говорити о неком формулисаном математичком моделу оптимизације, већ о захтевима које сам стручњак треба некако да задовољи, вероватно водећи се пре свега искуством. Сам кандидат непосредно након ове констатације наводи да је на слици 4-8 дат предлог оптималног броја и локација станица ТЛС. При томе, кандидат нигде не наводи како је дошао до тога и чиме оправдава или доказује тврдњу да је управо то оптималан број и распоред станица ТЛС.

Слична ситуација је и са поглављем 4.3 у коме се описује процедура за одређивање оптималног броја и локација скенерских сигнала за скенирање одабраног објекта. И овде кандидат констатује да је „*скенерске сигнале на објекту потребно равномерно распоредити по цијелој површини објекта, као и на терену у непосредној близини објекта.*

При томе је неопходно обезбиједити да су видљиви са најмање двије станице ТЛС и да не буду колинеарно распоређени. Оптималан број скенерских сигнала за поуздану регистрацију износи три, у случају комбиновања регистрације типским скенерским сигнаlima и cloud-to-cloud методе регистрације“. Не образлажући како је то постигао, кандидат констатује да је у зони објекта дефинисано укупно 14 сигнала, од тога 3 на површи објекта, а 11 изван објекта. И овде се, дакле, не може говорити о неком математичком моделу оптимизације, већ о једном неформалном приступу. Дати су само захтеви које треба некако задовољити код избора броја и распореда сигнала, вероватно тако што ће стручњак то радити на основу сопственог знања, искуства и вештина. Овде кандидат додатно предлаже употребу сферних сигнала на позицијама где су упадни зраци неповољни (прелазе максималну вредност од 45°) не наводећи основ за овако нешто, тј. зашто је баш ова вредност изабрана као гранична.

Коначно, кандидат на страни 52 разматра даље кораке оптимизације мреже ТЛС користећи 3Д изравнање, тј. формирање матрице тежина и рачунање матрице поузданости опажања **R**. Кандидат наводи да су у раду приказане само коначне приближне координате тачака оптималне ТЛС мреже, као и разматрани критеријуми тачности и поузданости, а не и резултати добијени после сваке итерације. И овде кандидат не наводи како се после сваке итерације коригују позиције станица ТЛС и скенерских сигнала да би се у следећој итерацији добили бољи резултати, а самим тим и геометрија мреже ТЛС, тј. решење које је оптималније. Дакле, и овде је сама оптимизација избора локација тачака мреже ТЛС-а, као кључни предмет истраживања, очигледно препуштена стручњаку који врши планирање скенирања и зависи од његовог знања, искуства и вештина.

И поред свега наведеног, кандидат у последњем пасусу овог поглавља тврди: „*добијено рјешење представља оптималну конфигурацију у оквиру анализираног допустивог скупа, при чему су истовремено задовољена сва дефинисана ограничења терестричког ласерског скенирања (максимална дозвољена вриједност упадног угла, минимални степен преклопа облака тачака и потпуна покривеност објекта) и разматрани критеријуми квалитета 3Д геодетске мреже“.* Ова тврдња није ничим поткрепљена.

Озбиљан недостатак је што у овом поглављу није разматрана примена предложене методологије на више објеката са различитим облицима и конфигурацијама препрека.

Поред тога, кључни елементи предложене методологије који се пре свега односе на избор броја и распореда станица ТЛС и скенерских сигнала нису разрађени и објашњени, па се на крају не може ни тврдити да је у овом поглављу представљена и формулисана методологија оптимизације геометрије мреже ТЛС-а.

У поглављу 5 кандидат нумеричку анализу и експерименталну проверу методологије оптимизације геометрије мреже ТЛС врши тако што планира и реализује скенирање две стране објекта који је био предмет анализе спроведене у поглављу 4. Нејасно је како се описаним експериментом може утврдити да ли је применом предложене методологије добијена оптимална геометрија мреже ТЛС, те да је самим тиме верификована предложена методологија. Чак и да је на тај начин потврђено да је за конкретни објекат добијена оптимална геометрија мреже ТЛС, а није, то не значи да би та методологија била применљива и на друге објекте, тј. да би се и тамо добила оптимална геометрија мреже ТЛС. И у овом поглављу, кандидат на страни 65 понавља исту реченицу из последњег параграфа поглавља 4.

Нејасно је како се методологија оптимизације мреже ТЛС (други план скенирања) може верификовати поређењем са конфигурацијом ТЛС мреже дефинисаном на основу искуства (први план скенирања). О каквом искуству се овде ради? Колико се може из дисертације

закључити, искуство стручњака који планира скенирање је неопходно и код примене предложене методологије. С обзиром да је и један и други план скенирања реализовао кандидат користећи сопствено искуство, није баш најјасније како је направљена значајна разлика у погледу та два плана скенирања. Остали планови скенирања имали су за циљ више проверу утицаја неких других параметара скенирања на тачност, поузданост и време скенирања. Рецимо, коришћење двоосног компензатора нагиба оса скенера, смањење минималног броја скенерских сигнала на преклопу суседних облака или резолуција скенирања. Поставља се оправдано питање зашто ти параметри нису претходно разматрани код разраде модела оптимизације, већ су само укључени у крајњи експеримент који није добро осмишљен и који уопште није прикладан за верификацију предложене методологије.

При томе, број станица ТЛС је исти за сва четири плана скенирања и нигде у раду није приказано да ли се и колико разликују позиције тих станица.

Дакле, комисија је става да овако осмишљен и реализован експеримент никако не може обезбедити адекватну верификацију предложене методологије оптимизације геометрије ТЛС.

У поглављу 6 се констатује да је у дисертацији предложена 3Д оптимизација геометрије терестричког ласерског скенирања. Овај термин је неприкладан и претенциозан, јер се за први део оптимизације користе само ширина/дужина и висина објекта, а не прави 3Д облик објекта. Дакле, полази се од претпоставке да је објекат дефинисан вертикалним равнима, а не да има неки сложени 3Д облик. Дакле, укључивање само висине објекта за прорачун упадног угла код дефинисања допустиве области скенирања не може се сматрати преласком са 2Д оптимизације на 3Д оптимизацију. Када је реч о другом делу предложене методологије, сама оптимизација геометрије 3Д мреже није нов концепт у геодезији (у употреби је деценијама уназад).

И овде се тврди да је „за оптимизацију распореда станица ТЛС и скенерских сигнала формулисан математички модел вишекритеријумске оптимизације, у којем су технолошка ограничења ТЛС система (максимална дозвољена вриједност упадног угла, минимални степен преклопа облака тачака и потпуна покривеност објекта) и граничне вриједности показатеља квалитета 3Д геодетске мреже дефинисале допустиви скуп рјешења“. Занемарује се чињеница да и поред ових ограничења постоји потреба избора оптималног броја и распореда станица ТЛС и скенерских сигнала и пре него што се пређе на оптимизацију тако добијене мреже ТЛС применом 3Д изравнања по методи посредног изравнања. Неубедљиво делује констатација кандидата да се „У предметном истраживању вишекритеријумски приступ не заснива на избору најповољније алтернативе из унапријед дефинисаног дискретног скупа варијантних рјешења, што је чест приступ у класичним геодетским моделима вишекритеријумског одлучивања. Скуп могућих конфигурација ТЛС мреже оvdје је дефинисан као континуалан допустиви простор станица ТЛС и скенерских сигнала, унутар којег се варирањем њихових координата спроводи поступак оптимизације. На тај начин оптимално рјешење није резултат рангирања коначног броја алтернатива, већ резултат итеративног варирања параметара унутар континуалног простора рјешења у складу са дефинисаним критеријумима и ограничењима“. Који је то „допустив простор станица ТЛС и скенерских сигнала унутар којег се варирају њихове координате“? Како се дошло до тог скупа? Зар и то није предмет оптимизације? Из слика у поглављу 4 јасно је да станице ТЛС нису постављене у свим локацијама унутар допустиве области, већ да је и ту рађена нека оптимизација. Додуше, та оптимизација није дефинисана, већ се очигледно стручњак мора водити неким захтевима (минимални преклоп суседних облака тачака, скенирање објекта у потпуности, и сл.) и користити при томе своје знање, искуство и вештине. Слично важи и за скенерске сигнале, само су ту захтеви

другачији. При томе, кандидат занемарује значај тог првобитног избора броја и распореда станица ТЛС и скенерских сигнала, иако је то вероватно најважнији корак који је пресудан за коначни резултат оптимизације геометрије мреже ТЛС, али и целокупног процеса скенирања и обраде резултата.

Кандидат у овом поглављу поново наглашава да је први научни допринос дисертације увођење концепта допустиве области. Подсећамо овде да је за дефинисање ове области примењен тривијалан приступ који се базира на прорачуну упадног угла скенирања срачунат по ширини/дужини и висини објекта и на основу препрека око објекта, при чему је то све разматрано само за један конкретан пример скенирања. У примедбама наведеним за поглавље 4, већ је указано да је кандидат ту направио пропуст и извео погрешне закључке који се односе на немогућност скенирања објекта са граничним угловима скенирања мањим од 78° , а који су поновљени и овом поглављу са закључним разматрањима.

Даље, кандидат наводи да су *„ограничења 3Д ласерског скенирања, као што су максимална дозвољена вриједност упадног угла ласерског зрака, услов потпуног скенирања објекта и минималан преклоп сусједних облака тачака, заједно са критеријумима квалитета тродимензионалних геодетских мрежа, интегрисана у јединствен оптимизациони поступак с циљем одређивања оптималног броја и локација станица ТЛС и скенерских сигнала, уз уважавање присуства препрека у непосредној близини објекта и техничких карактеристика скенера“*. Ово једноставно није тачно. Поступак није јединствен, а поготову није урађена интеграција у јединствен оптимизациони поступак који ће резултирати оптималним бројем и локацијама станица ТЛС и скенерских сигнала. Већ смо указали на то да методологија подразумева да стручњак први део оптимизације треба да ради мање-више искуствено, покушавајући да задовољи постављене захтеве и при томе може да се ослони само на то да је простор за оптимизацију сужен дефинисањем допустиве области. Све грешке које стручњак овде направи, врло вероватно ће угрозити даљи поступак оптимизације.

Да предложена методологија није верификована у погледу обезбеђивања оптималне геометрије мреже ТЛС-а, потврђује и сам кандидат у закључним разматрањима констатујући: *„Потребно је нагласити да у оквиру спроведеног истраживања није доказиван глобални оптимум у строгом математичком смислу, нити је вршена потпуна претрага простора свих могућих конфигурација мреже станица ТЛС и скенерских сигнала. Оптимизациони проблем је формулисан као вишекритеријумски, са векторском функцијом циља и скупом ограничења, при чему је примјеном дефинисаног поступка варирања координата станица ТЛС и скенерских сигнала добијена конфигурација ТЛС мреже која унутар допустивог скупа обезбјеђује најповољније вриједности усвојених критеријума. Могућност постојања других еквивалентних или блиских рјешења представља карактеристику вишекритеријумских проблема и не утиче на валидност и примјењивост предложеног модела“*. Ово је потпуно јасно имајући у виду да кандидат није ни дефинисао и применио математички модел вишекритеријумске оптимизације, па се не може ни очекивати оптимално решење.

У закључним разматрањима кандидат наводи и да *„Пројектована оптимална ТЛС мрежа за скенирање двије стране објекта обухвата пет станица ТЛС и осам скенерских сигнала. Обје стране објекта биће скениране у потпуности, са најмање 40% преклопа између сусједних облака тачака“*. С обзиром да је захтеван преклоп од минимално 20%, може се поставити и питање да ли је добијено оптимално решење или неко решење блиско оптималном. Наравно, у овом једноставном случају скенирања, са две стране објекта и са само пет станица ТЛС овакав преклоп је вероватно и очекиван, али и то донекле указује на потребу да се методологија верификује на више карактеристичних примера скенирања. То

наравно не значи да у свим тим случајевима треба и да се врши скенирање објекта, већ да се само види да ли методологија, ако је уопште формализована на прави начин, резултира оптималним решењем.

Кандидат за крај констатује да: *„Иако је у раду примјењен итеративни поступак оптимизације уз контролу геометријских ограничења и критеријума квалитета, даља истраживања могу бити усмјерена ка аутоматизацији поступка генерисања и вредновања већег броја могућих конфигурација ТЛС мреже унутар дефинисаног допустивог скупа.“* Комисија је става да је ово управо био један од задатака за истраживање у оквиру израде ове докторске дисертације, а који није реализован.

4.6 Оствареност циљева и задатака истраживања

Посебан проблем за анализу остварености циљева и задатака истраживања представља то што се циљеви истраживања наведени у пријави теме (и извештају комисије за пријем теме) и циљеви наведени у тексту докторске дисертације толико разликују да их је тешко упоређивати. Комисија ће се овом свом извештају првенствено фокусирати на циљеве наведене у пријави теме докторске дисертације и извештају комисије за пријем теме (идентични су). Ти циљеви су дати у поглављу 4.2.1 овог извештаја и овде се неће понављати.

Пре свега, кандидат није дефинисао и формализовао методологију за оптимизацију избора броја и распореда станица ТЛС и скенерских сигнала, па самим тим ни методологију за оптимизацију геометрије мреже ТЛС. Предложено је да се иницијални избор броја и распореда тачака мреже ТЛС врши тако што ће бити испуњени стандардни захтеви код скенирања, не објашњавајући како да се то постигне. Коришћење допустиве области може да помогне. Међутим, нити је кандидат понудио добар алгоритам за дефинисање ове области, нити је дефинисање ове области разматрано на више карактеристичних случајева скенирања (различити облици објеката, препреке и сл.).

За неколико следећих циљева истраживања наводе се: *„оптимална прецизност мерења и мреже, (оптималне тежине опажања, задовољење критеријума и ограничења која се тичу прецизности); оптимална поузданост мерења и мреже, (задовољење критеријума и ограничења која се тичу поузданости); оптимална моћ тестова, (за контролу одскачућих резултата, за адекватност модела објекта, за контролу промене геометрије објекта и сл.), и оптимална тачност модела објекта“*. Овде кандидат погрешно користи термин „оптималан“. Параметре као што су: прецизност (вероватно се мисли на тачност) и поузданост мерења мреже, моћ теста и тачност модела објекта, више треба третирати као захтеве, него параметре које треба оптимизовати. Наравно, и ови параметри могу бити предмет оптимизације, али кандидат у раду није изложио на јасан начин како се ови параметри оптимизују кроз итеративни поступак посредног 3Д изравнања и корекцију геометрије ТЛС мреже након сваке итерације. Додатно, кандидат није уопште разматрао оптимизују ових параметара заједно са оптимизацијом параметара ТЛС (број и распоред станица ТЛС и скенерских сигнала, упадни угао скенирања, преклоп суседних облака тачака итд.). Тачност модела објекта уопште није разматра. Ту се кандидат вероватно ослањао само на тачност координата скенерских сигнала.

Када је реч о циљевима које је кандидат навео у поглављу 1.2 докторске дисертације, а који су наведени у тексту овог извештаја у поглављу 3.2, ни ти циљеви нису успешно реализовани. Анализа постојећих приступа и идентификација њихових ограничења је доста скромна (само страна и по текста у дисертацији). Математички модел вишекритеријумске оптимизације није добро дефинисан, јер нису оптимизовани сви параметри, нити су

адекватно разматране тежине за поједине критеријуме, док су неки критеријуми проглашени за ограничења. Ни за такав модел оптимизације није предложен поступак који би јасно довео до задовољења постављених ограничења и добијање оптималног решења. Предложена методологија је разматрана само за један објекат са вертикалним зидовима, правим угловима у основи објекта и релативно једноставном конфигурацијом препрека око објекта. Оправдано се поставља питање применљивости предложене методологије (рецимо, начина дефинисања допустиве области) за сложеније типове објеката са закривљеним површинама, површинама у нагибу, и сл. и са сложенијом конфигурацијом препрека око објекта. Реализовани експеримент је врло скроман и не обезбеђује довољно података да би се поуздано испитао и утврдио утицај распореда станица ТЛС и скенерских сигнала на тачност регистрације облака тачака. Коначно, није урађена адекватна верификација предложеног модела (ако он уопште постоји) кроз нумеричке симулације и експериментална мерења.

У дисертацији се на више места, уместо да се кроз научно истраживање, доказом или оповргавањем изнетих тврдњи, понуде чињенице од важности за решавање постављеног проблема, на неутемељен начин износе субјективни закључци у прилог тих тврдњи.

Када је реч о задацима истраживања из пријаве теме (видети поглавље 4.2.2 овог извештаја), они нису ни приближно остварени током реализованог истраживања. Кандидат наводи да је један од задатака био и *„писање рачунарских програма за имплементацију карактеристичних модела оптимизације у оквиру Matlab софтверског окружења“*. Имплементација рачунарских програма за имплементацију *„карактеристичних модела оптимизације“* није ни споменута у тексту дисертације. Ово је разумљиво, јер кандидат није успешно ни формализовао поступак избора броја и распореда станица ТЛС и скенерских сигнала, већ су само дати захтеви које треба задовољити. Даље, кандидат у пријави наводи и да задаци истраживања обухватају *„планирање и спровођење експеримента у оквиру којих би на терену били прикупљени подаци који би омогућили вредновање (оптималан избор) карактеристичних модела оптимизације, обраду и анализу добијених резултата са вредновањем карактеристичних модела оптимизације примјеном тестова математичке статистике“*. Поново наглашавамо неадекватност реализованог експеримента за верификацију предложене методологије, али и помињање *„карактеристичних модела оптимизације“* и њихово вредновање. Нејасно је на шта се ово уопште односи, али ово свакако није реализовано у оквиру истраживања и није описано у тексту дисертације.

4.7 Научни и практични допринос дисертације

4.7.1 Очекивани научни допринос и примена резултата истраживања

У тексту пријаве теме се наводи да ће истраживање унапредити процес снимања инжењерских објеката терестричким ласерским скенерима, те да је *„очекивани допринос ове дисертације дефинисање различитих модела оптимизације, као и вредновање карактеристичних модела над експерименталним подацима“*.

4.7.2 Постигнути научни допринос и примена резултата истраживања

Из досадашњег текста извештаја може се закључити да су постигнути научни допринос и примена резултата истраживања врло скромни и ограничени. Нити су дефинисани различити модели оптимизације, нити су они адекватно вредновани. Штавише, није уопште

јасно формулисан модел оптимизације геометрије мреже ТЛС. И даље се кандидат углавном ослања на знање, искуство и вештину стручњака који врши избор броја и распореда станица ТЛС и скенерских сигнала. При томе се једино нуди помоћ у виду начина дефинисања допустиве области скенирања који је тривијалан и недовољно истражен и верификован за иоле сложеније типове објеката и конфигурације препрека. При свему томе, као што је више пута наглашено у тексту овог извештаја, многи параметри се третирају просто као ограничења, а не као параметри који су предмет оптимизације (упадни угао скенирања, преклоп, и сл.). Сам термин вишекритеријумске оптимизације је претенциозан и таква оптимизација није реализована у раду кроз један формулисани и имплементирани модел. Накнадна оптимизација геометрије мреже ТЛС кроз 3Д изравнање тешко да може да доведе до оптималног решења. Штавише, у раду није учињен ни озбиљан покушај да се испита колико је добијено решење заиста оптимално. Иако је кандидат код ове оптимизације геометрије мреже ТЛС кроз 3Д изравнање применио ригорозне методе за оцену квалитета мреже (тачност, поузданост и сл.), сам поступак оптимизације у смислу корекција позиција тачака мреже није јасно формулисан. Све у свему, иако је кандидат разматрао значајан број параметара скенирања (упадни угао, тип сигнала, преклоп, резолуција скенирања, време скенирања, итд.), то није резултирало дефинисањем јасног модела оптимизације. Многе ствари, које су кључне за оптимизацију ТЛС су и даље остале недефинисане и дескриптивне. Иако неке од констатација у раду могу да помогну стручњацима из праксе, није реално очекивати већу примену резултата истраживања, како у научним истраживањима, тако ни у практичним применама. Додатни проблем представља и то што неке од констатација нису научно верификоване кроз добро осмишљен експериментални део рада.

5 ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

Комисија након прегледа докторске дисертације констатује следеће:

- 1) Кандидат није успешно реализовао кључне циљеве и задатке који су постављени током пријаве теме докторске дисертације;
- 2) Кандидат није јасно дефинисао модел оптимизације геометрије мреже ТЛС на научно заснован начин; понуђени су неки тривијални поступци и решења - неки од њих се заснивају на већ устаљеним приступима и техникама, а неки нису довољно ни описани; предложена методологија није разматрана и верификована за иоле сложеније типове објеката и конфигурације препрека, већ само за један конкретни објекат једноставније геометрије, а верификација је рађена за само један његов део;
- 3) Експериментална истраживања су врло скромног обима, нису добро осмишљена и нису обезбедила научну верификацију предложене методологије;
- 4) У дисертацији није дат адекватан научноистраживачки допринос оптимизацији геометрије терестричког ласерског скенирања и не може се очекивати већа примена резултата истраживања у даљим научним истраживањима и практичним применама.

6 ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Према оцени Комисије, кандидат није понудио јасан предлог решења постављеног проблема. Постављени циљеви и задаци нису успешно реализовани. Нека од понуђених решења су тривијална, а нека су нејасно формулисана и тешко применљива у пракси.

На основу свега изнетог, Комисија закључује да докторску дисертацију треба **одбити**, јер не задовољава основне претпоставке у погледу научног приступа решавању задатог проблема и на неадекватан начин примењује методологију научног истраживања, па самим тим не представља оригиналан научни допринос.

Београд, 03.07.2026. године

Чланови комисије:

Проф. др Бранислав Бајат, дипл. инж. геод.
(Грађевински факултет Универзитета у Београду)

В.проф. др Жељко Цвијетиновић, дипл. инж. геод.
(Грађевински факултет Универзитета у Београду)

В.проф. др Милева Самарцић-Петровић, дипл. инж. геод.
(Грађевински факултет Универзитета у Београду)

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ГРАЂЕВИНСКОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ**

Предмет: Извештај о урађеној докторској дисертацији кандидата Корнелије Кљечанин

Одлуком Наставно-научног већа Грађевинског факултета Универзитета у Београду број 225/17-18 од 21. маја 2026. године, именован сам за члана Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Корнелије Кљечанин, мастер инж. геод, под насловом:

ОПТИМИЗАЦИЈА ГЕОМЕТРИЈЕ ТЕРЕСТРИЧКОГ ЛАСЕРСКОГ СКЕНИРАЊА

Наслов дисертације на енглеском језику:

OPTIMISATION OF THE GEOMETRY OF TERRESTRIAL LASER SCANNING

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала и разговора са кандидатом, први члан Комисије:

- в. проф. др Марко Пејић, дипл. геод. инж.

подноси Наставно-научном већу следећи:

ИЗВЕШТАЈ

1. УВОД

1.1. Подаци о процедури пријављивања и предаје дисертације

Кандидат Корнелија Кљечанин пријавила је тему докторске дисертације 06. јуна 2018. године. Одлуком Наставно-научног већа Грађевинског факултета број 225/2 од

15. јуна 2018. године, са седнице одржане 14. јуна 2018. године, одређена је Комисија за оцену научне заснованости теме докторске дисертације кандидата Корнелије Кљечанин, мастер инж. геод, под насловом „Оптимизација геометрије терестричког ласерског скенирања“ у саставу:

- проф. др Иван Алексић, дипл. геод. инж.
- в. проф. др Марко Пејић, дипл. геод. инж.
- проф. др Тоша Нинков, дипл. геод. инж.

Позитиван извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације усвојен је на седници Наставно-научног већа Грађевинског факултета одржаној 13. септембра 2018. године (одлука бр. 225/5 од 17. септембра 2018. године).

Веће научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду на седници одржаној 25. септембра 2018. године, својом одлуком број 02-06/61206-4119/2-18 усвојило је предлог теме докторске дисертације кандидата Корнелије Кљечанин под називом „Оптимизација геометрије терестричког ласерског скенирања“.

За менторе дисертације одређени су проф. др Иван Алексић, дипл. геод. инж. и в. проф. др Марко Пејић, дипл. геод. инж. У току израде дисертације, проф. др Иван Алексић се писаним путем изјаснио да не жели да настави да води кандидата из пензије. Због тога је ННВ Грађевинског факултета дана 25.04.2024. године именовало за ментора в. проф. др Марка Пејића.

Кандидат је урађену докторску дисертацију предао Служби за студентска питања Грађевинског факултета 04. маја 2026. године.

1.2. Научна област дисертације

Тема докторске дисертације припада научној области *Геодетско инжењерство* и ужој научној области *Геодетски премер*, која је дефинисана Статутом Грађевинског факултета Универзитета у Београду.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Корнелија Кљечанин, рођена је 1. јануара 1988. године у Добоју од мајке Душанке Ристић и оца Теше Ристић. Основну школу је завршила у Теслићу као одличан ученик. Средњу школу, гимназију, завршила је 2007. године у Теслићу, такође са одличним успехом.

Основне студије студијског програма Геодезија и геоинформатика, завршила је 2010. године на Грађевинском факултету Универзитета у Београду, чиме је стекла академско звање инжењер геодезије (180 ЕЦТС). Мастер студије студијског програма Геодезија и геоинформатика, завршила је 2012. године на Грађевинском факултету Универзитета у Београду и стекла академско звање мастер инжењер геодезије (300 ЕЦТС). Школу докторских академских студија студијског програма Геодезија и геоинформатика, на Грађевинском факултету Универзитета у Београду, уписала је 2012. године.

Од 2013. године запослена је на Архитектонско-грађевинско-геодетском факултету Универзитета у Бањој Луци, где је била ангажована као асистент и виши асистент. Изводила је вежбе из предмета у области геодетског премера.

Као аутор и коаутор објавила је већи број научних и стручних радова из области геодезије, од којих су два на *SCI* листи.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Корнелије Кљечанин под насловом „Оптимизација геометрије терестричког ласерског скенирања“ садржи укупно 97 страна, од којих је основни текст са списком цитиране литературе дат на 83 стране (79 страна без списка цитиране литературе). Дисертација је написана на српском језику и подељена је у шест поглавља:

1. Увод - опис проблема
2. Теоријске основе прикупљања просторних података терестричким ласерским скенерима
3. Теоријске основе и методологија оптимизације у планирању извођења терестричког ласерског скенирања
4. Примена модела оптимизације геометрије ТЛС мреже на згради Архитектонско-грађевинско-геодетског и Шумарског факултета Универзитета у Бањој Луци
5. Нумеричка анализа и експериментална провера методологије оптимизације ТЛС
6. Закључак и препоруке за даље истраживање

Поред ових поглавља, дисертација садржи и списак цитиране литературе. Дисертација садржи 31 слику на којима су приказани цртежи, скице, фотографије и дијаграми који су релевантни за илустрацију текста, као и 20 табела. Списак цитиране литературе садржи 49 наслова. На почетку дисертације дат је резиме на српском и енглеском језику са кључним речима. Биографија кандидата дата је на крају дисертације.

Дисертација је технички обликована у складу са упутствима Универзитета у Београду и посебним упутствима за обликовање штампане и електронске верзије доктората. Садржи обавезна поглавља и обрасце: изјава о ауторству, изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и изјава о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Као што је већ наведено, основни текст докторске дисертације има шест поглавља, након којих је дат списак коришћене литературе.

Прво поглавље садржи дефинисање предмета и циљева истраживања, формулисање полазних хипотеза, анализу релевантних досадашњих истраживања, те приказ очекиваних резултата и научног доприноса докторске дисертације. У овом поглављу образложена је актуелност истраживане проблематике и истакнут значај развоја методологије за оптимизацију мреже станица терестричког ласерског скенирања (станице ТЛС) и скенерских сигнала, која се у дисертацији означава као ТЛС мрежа.

Друго поглавље даје систематски приказ принципа рада терестричких ласерских скенера и поступака формирања облака тачака. Обрађене су основне компоненте скенера, принципи одређивања растојања, систем за дивергенцију ласерског снопа и одређивање праваца и координатни систем ТЛС-а. Посебна пажња посвећена је регистрацији и геореференцирању облака тачака, укључујући математички модел трансформације, различите методе регистрације (типским сигнаlima, морфолошким детаљима, најбољим уклапањем површи и правилним геометријским фигурама, као и њихове комбинације) и методе директног и индиректног геореференцирања са анализом њихових предности и ограничења. У поглављу су приказани теоријски концепти и поступци који су коришћени у даљем развоју модела оптимизације ТЛС мреже.

Треће поглавље посвећено је развоју методолошког оквира за оптимизацију геометрије ТЛС мреже. У поглављу је представљен математички модел вишекритеријумске оптимизације, заснован на интеграцији ограничења процеса терестричког ласерског скенирања и критеријума квалитета тродимензионалних (3Д) геодетских мрежа. Посебна пажња посвећена је увођењу концепта допустиве области постављања терестричког ласерског скенера, који представља основу за одређивање оптималних локација станица ТЛС. Описане су фазе поступка оптимизације, које обухватају дефинисање допустиве области постављања скенера, одређивање оптималног броја и просторног распореда станица терестричког ласерског скенирања, као и одређивање оптималног броја и просторног распореда скенерских сигнала. У поглављу су дефинисани математички модел и поступак оптимизације који су примењени у наставку истраживања.

Четврто поглавље приказује поступак примене развијене методологије на конкретном објекту. У оквиру поглавља одређена је допустива област постављања терестричког ласерског скенера на основу ограничења максимално дозвољене вредности упадног угла ласерског зрака и услова скенирања (препрека у непосредној близини објекта), а затим су одређени оптималан број и просторни распоред станица ТЛС и скенерских сигнала. Кроз три фазе поступка оптимизације формирана је оптимална мрежа станица ТЛС и скенерских сигнала за скенирање конкретног објекта.

Пето поглавље посвећено је верификацији предложене методологије кроз практичну реализацију терестричког ласерског скенирања. Извршено је скенирање одабраног дела објекта према претходно дефинисаној оптималној ТЛС мрежи, након чега су спроведени поступци обраде, регистрације и анализе прикупљених података. У поглављу су приказани и анализирани резултати добијени применом предложене методологије.

У завршном поглављу сумирани су најзначајнији резултати спроведеног истраживања и изведени закључци о могућностима примене развијене методологије у планирању терестричког ласерског скенирања. Анализирани су остварени научни доприноси дисертације у односу на постављене циљеве и хипотезе истраживања, те су предложени правци даљег развоја и унапређења модела оптимизације ТЛС мреже кроз будућа теоријска и експериментална истраживања.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Докторска дисертација кандидата Корнелије Кљечанин бави се актуелном проблематиком планирања процеса мерења код терестричког ласерског скенирања. Терестричко ласерско скенирање данас представља једну од водећих технологија за прикупљање просторних података у геодезији, грађевинарству, архитектури, индустрији и документовању културног наслеђа. Развој савремених инструмената и све шира примена облака тачака условили су потребу за развојем поузданих метода планирања процеса скенирања, с циљем постизања оптималног квалитета модела објекта у геометријском смислу, уз рационално коришћење свих ресурса.

Иако је у литератури присутан значајан број истраживања која се баве оптимизацијом распореда станица терестричког ласерског скенера, већина тих приступа заснива се на дводимензионалном моделовању простора и не разматра истовремено сва релевантна ограничења процеса терестричког ласерског скенирања. Такође, ограничено су заступљени резултати који у поступак оптимизације укључују анализу просторних препрека, геометрију објекта у тродимензионалном простору и оптимизацију распореда станица и скенерских сигнала.

Оригиналност дисертације огледа се у развоју методологије за тродимензионалну оптимизацију геометрије ТЛС мреже засноване на интеграцији ограничења процеса терестричког ласерског скенирања и критеријума квалитета 3Д геодетских мрежа. Посебан допринос представља увођење концепта допустиве области постављања терестричког ласерског скенера у процес 3Д оптимизације броја и локација станица ТЛС, при чему је допустива област одређена уважавањем ограничења 3Д диспозиције објекта, карактеристика инструмента, дозвољене вредности упадног угла ласерског зрака и присуства препрека у непосредној близини објекта.

Примена базичне теорије у планирању геодетских мерења у новије време се веома тешко налази у литератури, нарочито када се ради о новим технологијама. Аутор је применио класичну теорију пројектовања геодетских мерења у завршној фази оптимизације ласерског скенирања као поуздану методологију која на научно заснован и у пракси потврђен начин обезбеђује потврду испуњавања критеријума квалитета спроведених мерења и обезбеђује постизање квалитетне геометрије модела објекта. Такви примери у литератури не постоје када је у питању ласерско скенирање.

На основу Правилника о поступку провере оригиналности докторских дисертација које се бране на Универзитету у Београду и налаза у извештају из програма којим је извршена провера оригиналности докторске дисертације „Оптимизација геометрије терестричког ласерског скенирања“ (на енглеском језику „Optimisation of the geometry of terrestrial laser scanning “), аутора Корнелије Кљечанин, потврђена је оригиналност ове докторске дисертације.

Имајући у виду наведено, може се закључити да је докторска дисертација кандидата научно оправдана и да представља савремену и актуелну тему научног истраживања у оквиру геодезије.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У докторској дисертацији цитирано је укупно 49 библиографских јединица релевантних за предмет истраживања. Значајан број референци сачињавају радови објављени у врхунским међународним часописима као што су: *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, *Automation in Construction*, *Journal of Applied Remote Sensing*, *Remote Sensing* и *Tunnelling and Underground Space Technology*, као и радови објављени у међународним рецензираним публикацијама ISPRS-a (*ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences* и *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*). Поред тога, кандидат је користио релевантне докторске дисертације, уџбенике и монографије који су пружили теоријски и методолошки оквир за спроведено истраживање.

Кандидат је кроз преглед и анализу релевантне литературе обухватио најзначајније радове који се односе на оптимизацију терестричког ласерског скенирања. Посебна пажња посвећена је критичкој анализи постојећих приступа, при чему су разматране њихове предности, ограничења и могућности унапређења. На основу анализе претходних истраживања идентификоване су празнине у постојећим решењима, које су послужиле за дефинисање предмета истраживања и развој предложене методологије.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Кандидат је истраживање представљено у дисертацији спровео на основу теоријске анализе релевантне научне и стручне литературе и практичне примене развијене методологије. У циљу сагледавања постојећих сазнања из геодезије, у сегменту који се односи на терестричко ласерско скенирање, извршена је анализа, синтеза и систематизација резултата досадашњих истраживања, са посебним освртом на методе оптимизације процеса скенирања и регистрације облака тачака.

Експериментални део истраживања заснован је на развијеном моделу 3Д оптимизације геометрије ТЛС мреже, при чему су узета у обзир ограничења процеса терестричког ласерског скенирања и критеријуми квалитета 3Д геодетских мрежа. Примењене научне методе (анализа, синтеза, моделовање и оптимизација) коришћене су у развоју поступка планирања терестричког ласерског скенирања заснованог на интеграцији ограничења процеса скенирања и критеријума квалитета 3Д геодетских мрежа.

Примењене методе научног истраживања адекватне су за предмет истраживања. На основу свега наведеног, добијене резултате и закључке изведене у оквиру дисертације треба прихватити као потпуно валидне.

3.4. Примењивост остварених резултата

Развијена методологија намењена је примени у поступку планирања терестричког ласерског скенирања. Омогућава рационалнији избор броја и локација станица ТЛС, као и броја и распореда скенерских сигнала за потребе регистрације облака тачака.

Примена предложене методологије може допринети ефикаснијој организацији теренских радова, рационалнијем коришћењу расположивих ресурса и смањењу трошкова скенирања. Истовремено, уважавањем ограничења процеса терестричког ласерског скенирања и критеријума квалитета 3Д геодетских мрежа стварају се

услови за поузданију регистрацију облака тачака и добијање квалитетнијих 3Д модела.

Поред практичне примене, резултати дисертације могу послужити као основа за даља истраживања и унапређење поступака планирања терестричког ласерског скенирања.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

На основу садржаја докторске дисертације, начина постављања и решавања истраживачког проблема, избора и примене научних метода, као и анализе и интерпретације добијених резултата, може се закључити да је кандидат показао способност за самосталан научно-истраживачки рад.

Кандидат је успешно идентификовао актуелан научни проблем, дефинисао циљеве истраживања, развио одговарајући методолошки приступ и критички анализирао добијене резултате. Спроведено истраживање потврђује да кандидат поседује неопходна теоријска знања, методолошку оспособљеност и истраживачку зрелост за самосталан научни рад.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

У оквиру докторске дисертације Корнелије Кљечанин могу се издвојити следећи специфични научни доприноси проистекли из спроведеног истраживања:

- Увођење концепта допустиве области постављања терестричког ласерског скенера у поступак тродимензионалне оптимизације броја и локација станица ТЛС. Допустива област дефинисана је узимајући у обзир ограничења условљена максимално дозвољеном вредношћу упадног угла ласерског зрака и присуством препрека у непосредној близини објекта, чиме се простор претраге своди на локације које задовољавају геометријске услове неопходне за квалитетно и несметано скенирање. Овакво примењено решење не постоји у литератури.
- Интеграција ограничења терестричког ласерског скенирања и критеријума квалитета тродимензионалних геодетских мрежа у јединствен поступак оптимизације. У предложеном приступу ограничења која се односе на максимално дозвољену вредност упадног угла ласерског зрака, потпуност скенирања објекта и минималан преклоп суседних облака тачака разматрају се заједно са критеријумима квалитета 3Д геодетских мрежа с циљем одређивања оптималног броја и локација станица ТЛС и скенерских сигнала. Конкретан приступ кандидата, који користи критеријуме квалитета 3Д геодетских мрежа, а нарочито интеграцију са ограничењима, важан је допринос који се не може наћи у постојећој литератури. Примена базичне теорије у планирању геодетских мерења у новије време се веома тешко налази у литератури, нарочито када се ради о новим технологијама. Код одређеног броја објеката, време реализације мерења и предвидљивост квалитета резултата игра важну улогу, те је стога овакав допринос планирању терестричког ласерског скенирања у пракси осведочен, а овај конкретни допринос га значајно унапређује.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

У оквиру спроведеног истраживања Корнелија Кљечанин је развила методолошки оквир (поглавље 3) за планирање распореда станица терестричког ласерског скенирања, заснован на оригиналној методологији дефинисања допустиве области постављања скенера уз примену класичне теорије из области критеријума квалитета геодетских мрежа у појединим фазама оптимизације.

Посебан значај истраживања огледа се у чињеници да је оптимизација геометрије ТЛС мреже спроведена у тродимензионалном простору, уз уважавање вертикалне компоненте објекта и присуства просторних препрека у његовој непосредној близини. На тај начин омогућено је реално сагледавање просторних односа релевантних за планирање терестричког ласерског скенирања и одређивање положаја станица ТЛС и скенерских сигнала.

Ипак, потребно је нагласити одређена ограничења истраживања, која истовремено представљају и правце његовог даљег развоја.

Укључивање тродимензионалне геометрије објекта и просторних ограничења у поступак оптимизације није само формални допринос дисертације, већ у пракси има потенцијал да направи кључну разлику у применљивости методологије у реалним условима. Обзиром на очигледан дефицит аутора који су овом проблему пришли на овај начин, сви аспекти ове дисертације се требају посматрати као почетна истраживања у којем наравно и по природи ствари има места за значајна унапређења у будућности.

Предложени вишекритеријумски модел се не заснива на избору најповољније алтернативе из унапред дефинисаног дискретног скупа варијантних решења. Уместо тога, скуп могућих конфигурација ТЛС мреже дефинисан је као континуалан допуштени простор станица ТЛС и скенерских сигнала, унутар којег се, варирањем њиховог положаја, спроводи поступак оптимизације. Стога оптимално решење није резултат рангирања коначног броја унапред дефинисаних алтернатива, већ исход итеративног варирања пројектних променљивих у складу са усвојеним ограничењима и критеријумима квалитета.

У оквиру овог истраживања није разматран доказ глобалне оптималности у строгом математичком смислу, нити је спроведена потпуна претрага простора свих могућих конфигурација ТЛС мреже. Предложени оптимизациони поступак усмерен је на одређивање конфигурације која, у оквиру дефинисаног допуштеног скупа, обезбеђује најповољније вредности критеријума квалитета – полуоса елипсоида грешака, коефицијената унутрашње поузданости и маргиналних грубих грешака – уз задовољење свих дефинисаних ограничења (поглавље 4). Могућност постојања других еквивалентних или блиских решења представља природну карактеристику вишекритеријумских оптимизационих проблема и не доводи у питање валидност нити практичну применљивост предложеног модела.

Тип објекта који је искоришћен као тест објекат је зграда Архитектонско-грађевинско-геодетског и Шумарског факултета Универзитета у Бањој Луци. Примењена методологија је заснована на универзалним критеријумима који се могу применити на ма који објекат, те стога избор овог објекта мора се посматрати као једино изводљиво решење за кандидата који је приступио овом истраживању са готово непостојећим материјалним ресурсима за спровођење теренских

истраживања. Међутим, примена методологије на сложеније просторне системе, као што су различити инфраструктурни објекти, као и њено проширење на различите услове скенирања и карактеристике конкретних модела ТЛС скенера, представља значајан правац будућих истраживања.

Даљи развој методологије може бити усмерен ка аутоматизацији поступка генерисања и вредновања већег броја могућих конфигурација ТЛС мреже, применом 3Д алгоритама оптимизације за аутоматско одређивање оптималног распореда станица унутар дефинисане допустиве области. Увођење робусних 3Д алгоритама би свакако допринело квалитетнијим решењима, али у научном смислу, посебно данас услед брзог развоја вештачке интелигенције, већи значај треба придавати креативности решења. Аутор дисертације у овом тренутку није имао потенцијал да те проблеме решава искључиво алгоритамски. То је и разумљиво обзиром на велику комплексност 3Д програмирања које далеко излази из домена научне области дисертације.

4.3. Верификација научних доприноса

У току истраживања и израде дисертације, Корнелија Кљечанин је међународној научној и стручној јавности представила свој рад кроз следећу публикацију:

Категорија М23:

Klječanin, K., & Pejić, M. (2026). Methodology for 3D Optimization of the Number and Locations of TLS Stations and Scanner Targets. *Technical Gazette*, 33(4), 1373-1385. <https://doi.org/10.17559/TV-20250810002897> ,

чиме је задовољен формални услов за одбрану дисертације, док је у току и процес објављивања једног од директних резултата из ове дисертације у међународном часопису највише категорије.

ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

Урађена докторска дисертација кандидата Корнелије Кљечанин, мастер инж. геод, у потпуности испуњава све захтеване критеријуме, а кандидат је показао и способност за самосталан научно-истраживачки рад у свим фазама израде ове дисертације.

Предлаже се Наставно-научном већу да се докторска дисертација под насловом „Оптимизација геометрије терестричког ласерског скенирања“ кандидата Корнелије Кљечанин, мастер инж. геод, прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду, као и да након завршетка ове процедуре позове кандидата на усмену одбрану дисертације.

У Београду, 4. јул 2026. године

в. проф. др Марко Пејић, дипл. геод. инж.

Универзитет у Београду, Грађевински факултет

**НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ
ГРАЂЕВИНСКОГ ФАКУЛТЕТА
УНИВЕРЗИТЕТА У БЕОГРАДУ**

Одлуком Наставно-научног већа Грађевинског факултета у Београду, бр. 225/17-18 од 21.05.2026. године, одређена је Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Корнелије Кљечанин, маг.инж.геодез. под насловом:

„Оптимизација геометрије терестричког ласерског скенирања“

Комисија у саставу:

1. В. проф. др Марко Пејић, дипл.инж.геод., Универзитет у Београду, Грађевински факултет;
2. Проф. др Бранислав Бајат, дипл.инж.геод., Универзитет у Београду, Грађевински факултет;
3. В. проф. др Жељко Цвијетиновић, дипл.инж.геод., Универзитет у Београду, Грађевински факултет;
4. В. проф. др Милева Самарцић-Петровић, дипл.инж.геод., Универзитет у Београду, Грађевински факултет;
5. Проф. др Зоран Сушић, дипл.инж.геод., Универзитет у Новом Саду, Факултет техничких наука.

На основу учешћа у раду Комисије, достављам извдојено мишљење поводом Извештаја о оцени докторске дисертације.

ИЗДВОЈЕНО МИШЉЕЊЕ ЧЛАНА КОМИСИЈЕ

1. Преглед теме и циљева дисертације

Докторска дисертација под називом „Оптимизација геометрије терестричког ласерског скенирања“, кандидата Корнелије Кљечанин разматра проблем оптимизације поступка терестричког ласерског скенирања, узимајући у обзир принципе пројектовања геодетских мрежа са аспекта анализе критеријума квалитета. Дисертација садржи укупно

98 страна, укључујући садржај и литературу, 31 слику и 20 табела, без прилога. У оквиру литературе, наведено је 49 библиографских јединица. Структура текста дисертације приказана је кроз 6 поглавља.

Предмет истраживања усмерен је на утврђивање оптималног броја стајалишних места терестричког ласерског скенера и одговарајућих сигнала, узимајући у обзир неопходан преклоп између суседних облака тачака уз услов потпуног скенирања објекта, као и ограничења у виду максималне удаљености скенера од објекта, максималне вредности упадног угла и постојањем извесних препрека у току поступка прикупљања просторних података.

Циљеви дисертације су усмерени на анализу постојећих приступа у пројектовању геодетских мрежа у поступцима терестричког ласерског скенирања, предлагање математичког модела вишекритеријумске оптимизације геометрије мреже, узимајући у обзир ограничења која су претходно наведена, сагласно предмету истраживања.

Полазне хипотезе истраживања базирају се на интеграцији дефинисања допустиве области стајалишних места терестричког ласерског скенера и скенерских сигнала, узимајући у обзир конвенционалну оптимизацију пројектовања геодетских мрежа са аспекта анализе показатеља квалитета геодетске мреже, уз претходно наведена ограничења. Једна од полазних хипотеза односи се на могућност побољшања квалитета регистрације облака тачака.

У дисертацији кандидат као први научни допринос наводи увођење концепта допустиве области стајалишних места скенера у процес 3Д оптимизације, имајући у виду претходно наведена ограничења, док као други научни допринос истиче интеграцију конвенционалног пројектовања геодетских мрежа у поступак оптимизације терестричког ласерског скенирања.

У оквиру посебног поглавља дат је преглед теоријских основа терестричког ласерског скенирања, принципи рада, методе регистрације и геореференцирања облака тачака. Приказана је методологија вишекритеријумске оптимизације геометрије мреже скенирања, са посебним акцентом на дефинисање допустивих области у оквиру којих се дефинишу стајалишна места скенера, одређивање оптималног броја станица и сигнала. Предложена методологија је примењена на примеру два објекта, након чега су приказани резултати анализе и експерименталне провере предложене методологије.

У завршном поглављу дат је приказ предложене методологије оптимизације геометрије терестричког ласерског скенирања уз кратак преглед резултата спроведеног истраживања. Кандидат наводи да предложени модел интегрише технолошка ограничења терестричког ласерског скенера, дефинисање допустиве области стајалишних места скенера и критеријуме квалитета 3Д геодетске мреже у јединствен поступак вишекритеријумске оптимизације. У закључку су сумирани доприноси истраживања,

приказани су резултати примене методологије на одабраним објектима, разматране су постављене хипотезе, као и ограничења истраживања. Дати су предлози и правци за будућа истраживања.

2. Закључак

Након анализе докторске дисертације и упознавања са ставовима осталих чланова Комисије, констатујем да међу члановима Комисије није постигнута стручна сагласност у поступку оцене квалитета дисертације. Посебно указујем на чињеницу да чланови Комисије са матичног факултета нису заузели јединствен став, већ су у поступку оцене изнети аргументи који указују на различита стручна становишта у погледу квалитета дисертације и испуњености услова за њено позитивно оцењивање.

Имајући у виду да су у поступку оцене докторске дисертације достављена два извештаја, у којима су изнети аргументовани, али међусобно супротстављени стручни ставови у погледу квалитета дисертације и испуњености услова за њено позитивно оцењивање, нисам могао да се у потпуности сагласим ни са ставом из већинског извештаја, у коме се предлаже одбијање дисертације, ни са ставом из издвојеног извештаја, у коме се предлаже њено прихватање.

Из наведених разлога достављам издвојено мишљење, препуштајући Наставно-научном већу да на основу целокупне достављене документације и исказаних мишљења чланова Комисије, донесе одлуку у складу са својим надлежностима.

Београд, 06.07.2026.

Проф. др Зоран Сушић, дипл.инж.геод.
