

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Милоша Марјановића

Одлуком Наставно-научног већа Грађевинског факултета Универзитета у Београду бр. 159/8-16 од 17.07.2020. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Милоша Марјановића, маг.инж.грађ., под насловом:

**АНАЛИЗА ИНТЕРАКЦИЈЕ ШИПОВА У ГРУПИ ОПТЕРЕЂЕНОЈ ХОРИЗОНТАЛНИМ
ОПТЕРЕЂЕЊЕМ ПРОИЗВОЉНОГ ПРАВЦА**

Докторска дисертација је написана на енглеском језику у складу са условима међународног пројекта SEEFORM у оквиру кога је дисертација урађена. Наслов дисертације на енглеском језику гласи:

**ANALYSIS OF INTERACTION INSIDE THE PILE GROUP SUBJECTED TO ARBITRARY
HORIZONTAL LOADING**

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала и разговора са кандидатом, комисија је сачинила следећи

Р Е Ф Е Р А Т

1. УВОД

1.1 Хронологија одобравања и израде дисертације

- 13.12.2010. године кандидат је уписао Докторске академске студије на Грађевинском факултету у Београду, на студијском програму Грађевинарство.
- 11.02.2016. године на седници Катедре за грађевинску геотехнику кандидат је изложио предложену тему докторске дисертације под насловом "Анализа интеракције шипова у групи оптерећеној хоризонталним оптерећењем произвољног правца". Комисија коју је образовало Веће Катедре прихватила је тему докторске дисертације и предложила кандидату да тему пријави Наставно-научном већу Грађевинског факултета.
- 15.04.2016. године кандидат је пријавио тему докторске дисертације Наставно-научном већу Грађевинског факултета у Београду.
- 21.04.2016. године Наставно-научно веће Грађевинског факултета у Београду именовало је Комисију за оцену подобности теме и кандидата докторске дисертације у саставу: проф. др Мирјана Вукићевић, Prof. Dr.-Ing. habil. Tom Schanz, Dr.-Ing. Diethard König, доц. др Селимир Леловић, проф. др Милош Лазовић (Одлука бр. 159/3 од 22.04.2016.).
- 19.05.2016. године Наставно-научно веће Грађевинског факултета у Београду прихватило је извештај Комисије за оцену подобности теме и кандидата докторске дисертације и своју одлуку доставило Већу грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду на давање сагласности (Одлука бр. 159/4 од 20.05.2016.).
- 28.06.2016. године Веће грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације под насловом "Анализа интеракције шипова у групи оптерећеној хоризонталним оптерећењем произвољног правца" (Одлука бр. 61206-3343/2-16 од 28.06.2016.).

- 13.07.2020. кандидат је предао коначну верзију докторске дисертације на преглед и оцену.
- На седници одржаној 16.07.2020. године (Одлука бр. 159/8-16 од 17.07.2020.), Наставно-научно веће Грађевинског факултета у Београду именовало је Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације у следећем саставу:
 - др Мирјана Вукићевић, редовни професор, Грађевински факултет Универзитета у Београду,
 - Dr.-Ing. Diethard König, виши научни сарадник (AkadOR), Department of Civil and Environmental Engineering, Ruhr University Bochum,
 - др Петар Сантрач, ванредни професор, Грађевински факултет Суботица, Универзитет у Новом Саду,
 - др Селимир Леловић, доцент, Грађевински факултет Универзитета у Београду,
 - др Сања Јоцковић, доцент, Грађевински факултет Универзитета у Београду.

1.2. Научна област дисертације

Тема докторске дисертације припада научној области Грађевинарство, и ужим научним областима Фундирање и Механика тла, које су дефинисане Статутом Грађевинског факултета Универзитета у Београду. За ментора дисертације одређена је др Мирјана Вукићевић, редовни професор Грађевинског факултета Универзитета у Београду. За коментора дисертације именован је Dr.-Ing. Diethard König, виши научни сарадник (AkadOR) Рурског Универзитета у Бохуму, СР Немачка.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Милош Марјановић рођен је 08.01.1986. године у Ужицу, Република Србија, где је завршио основну школу и гимназију природно-математичког смера. Носилац је дипломе "Вук Караџић" за ученике основних школа и добитник награде за најбољи матурски рад Ужичке гимназије. Основне академске студије на Грађевинском факултету у Београду уписао је школске 2005/06. године, а дипломирао је 2009. године на Модулу Конструкције, са просечном оценом 9.29. Дипломске академске студије на Грађевинском факултету у Београду уписао је школске 2009/2010. године, а дипломирао је 2010. године на Модулу Конструкције, са просечном оценом 9.43. Добитник је награде из фонда академика Ђорђа Лазаревића за најбољи дипломски рад из Бетонских конструкција. Добитник је Награде Регионалне привредне коморе Ужице за најбоље студенте – таленте са подручја коморе за 2009. годину. Добитник је више стипендија за постигнут успех на студијама. Више пута је похваљиван од стране Грађевинског факултета Универзитета у Београду за изузетан успех током студирања. Током редовних студија Милош Марјановић био је ангажован као студент-демонстратор на предметима Информатика 1, Статика конструкција и Механика тла. Такође је у 2 наврата учествовао на летњим школама "Vibrations of Structures due to Rail-Road Traffic" у организацији Грађевинског факултета Универзитета у Београду и Техничког Универзитета у Минхену.

Кандидат је уписао Докторске академске студије на Грађевинском факултету у Београду школске 2010/2011. године. Положио је све испите предвиђене наставним планом са просечном оценом 9.88, а 2016. године одобрена му је израда докторске дисертације под називом "Анализа интеракције шипова у групи оптерећеној хоризонталним оптерећењем произвољног правца".

Од фебруара 2011. године запослен је на Грађевинском факултету Универзитета у Београду у звању асистента-студента докторских студија за уже научне области Механика тла и Геотехника саобраћајница. Од избора у звање асистента-студента докторских студија одржава вежбања из предмета Механика тла и Геотехника саобраћајница. Такође одржава консултације приликом израде дипломских и мастер радова из области финансирања.

Од 2015. кандидат је стипендиста међународног програма SEEFORM (South Eastern European Graduate School for Master and Ph.D. Formation in Engineering), који финансира DAAD (Немачка служба за академску размену). У оквиру пројекта SEEFORM провео је укупно 13 месеци на студијским усавшавањима на Рурском Универзитету у Бохуму (Chair of Soil Mechanics, Foundation Engineering and Environmental Geotechnics), под менторством коментора Prof. Dr.-Ing. habil. Tom Schanz-а и Dr.-Ing. Diethard König-а. Поред тога, учествовао је на семинарима за студенте докторских студија у земљи и иностранству. Аутор и коаутор је 4 радова у домаћим и међународним часописима и 20 радова у зборницима домаћих и међународних научних скупова.

Милош Марјановић је истраживач на Пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије ТР 36046, од 2012. године. Члан је Српског друштва за механику тла и геотехничко инжењерство и Међународног друштва за механику тла и геотехничко инжењерство (ISSMGE). Дугогодишњи је члан Академског културно-уметничког Друштва Универзитета у Београду "Бранко Крсмановић".

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Дисертација је технички обликована према упутствима Сената Универзитета у Београду и посебним упутствима за обликовање штампане и електронске верзије дисертације. Дисертација садржи обавезна поглавља и обрасце: изјава о ауторству, изјава о истоветности електронске и штампане верзије и изјава о коришћењу.

Докторска дисертација је написана на енглеском језику. Садржи 292 стране, од којих је основни текст на 103 стране. Дисертација садржи 83 слике и 7 табела. На почетку су дате изјаве захвалности, резиме на српском и енглеском језику са УДК бројем, као и листе слика и табела. На крају дисертације дата је кратка биографија кандидата. Прилог на крају садржи оригиналне рачунарске програме које је кандидат написао и користио за нумеричку анализу у оквиру дисертације.

Дисертација је подељена у осам поглавља:

1. Увод
2. Преглед претходних истраживања
3. Формирање нумеричког модела
4. Валидација нумеричког модела
5. Параметарска анализа и интерпретација резултата
6. Дискусија
7. Закључци
8. Будући рад.

У списку коришћене литературе налази се 136 референци које детаљно приказују тренутно стање у области интеракције унутар група шипова оптерећених хоризонталним оптерећењем.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Дисертација се састоји од осам поглавља и Прилога. Дисертација је организована прогресивно, тако да завршне напомене у сваком поглављу служе као основа за наредно поглавље.

У Уводу су укратко приказани основни феномени у проблему групе шипова оптерећене хоризонталним оптерећењем. Приказана су тренутна достигнућа из литературе у области група шипова оптерећених оптерећењем произвољног правца, уз наглашавање "слабих тачака" и мотивације за истраживање у оквиру дисертације. Циљеви истраживања, претпоставке и методологија су јасно дефинисани. Такође су приказани дијаграм тока истраживања и кратак преглед свих поглавља дисертације.

У Прегледу претходних истраживања, приказани су основни појмови, као и преглед различитих нумеричких и експерименталних метода анализе хоризонтално оптерећених група шипова. У првом делу поглавља, као основа за квантификацију нивоа интеракције унутар групе шипова приказан је концепт фактора интеракције, који је у примени у прописима за пројектовање група шипова у Немачкој. Наведене су и значајне нумеричке студије интеракције шипова у групи, као и изведене експерименталне студије у овој области. Наглашен је недостатак студија интеракције унутар групе шипова оптерећене хоризонталним оптерећењем произвољног правца, чиме је мотивисано даље истраживање у овој области. У другом делу поглавља је приказана "a priori" анализа осетљивости битних параметара проблема. Идентификовани су главни параметри

проблема и они су послужили као основа за нумерички модел коришћен у анализи. Метода коначних елемената (МКЕ) изабрана је као адекватна нумеричка метода за разматрани проблем.

У трећем поглављу, "Формирање нумеричког модела", дат је опис нумеричког модела, као и целокупне процедуре прорачуна примењене у нумеричкој анализи у оквиру дисертације. Након кратког приказа програмског пакета PLAXIS 3D и конститутивних модела коришћених у нумеричкој анализи, приказано је поређење различитих техника моделирања шипова у програму PLAXIS 3D ("embedded beam" модел и пуни тродимензионални модел). Тродимензионални ("solid") модел је изабран као погоднији за примену. Остали аспекти нумеричког модела (контакт тло-шип, МКЕ дискретизација, гранични услови, фазе прорачуна) су такође описани. У другом делу поглавља описана је процедура обраде резултата, као и оригинална процедура за аутоматизацију читавог процеса прорачуна на више рачунара применом Python скрипти. Треба нагласити да су сви рачунарски програми у оквиру спроведеног истраживања оригинално развијени од стране кандидата. Ови програми су укратко описани на крају овог поглавља, а комплетни рачунарски кодови дати су у Прилогу на крају дисертације.

У четвртном поглављу, "Валидација нумеричког модела", дати су резултати валидације предложеног нумеричког модела. Валидација модела заснована је на доступним експерименталним резултатима из литературе и "trial-and-error" приступу. Приказани резултати валидације потврдили су могућности предложеног нумеричког модела да симулира проблем хоризонтално оптерећене групе шипова.

У петом поглављу, "Параметарска анализа и интерпретација резултата", приказани су резултати опсежне параметарске анализе утицаја хоризонталног оптерећења произвољног правца на интеракцију унутар групе шипова. Прво су одабрани и укратко описани главни параметри студије. Одабир параметара у студији заснован је на раније приказаној анализи осетљивости, док је опсег параметара одабран тако да покрије највећи распон могућих реалних ситуација. Анализиране су две врсте тла: растресит и збијен песак. Резултати студије представљени су у облику дијаграма фактора интеракције у односу на правац дејства хоризонталног оптерећења, и максималних момената савијања у шиповима у односу на правац дејства хоризонталног оптерећења.

У последња три поглавља приказана је дискусија добијених резултата, главни закључци целокупног истраживања и низ препорука за даља истраживања у области хоризонтално оптерећених група шипова.

Након списка коришћене литературе, рачунарски кодови су приказани у Додатку.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Оригиналност

Докторска дисертација "Анализа интеракције шипова у групи оптерећеној хоризонталним оптерећењем произвољног правца" представља оригинални научни рад у области дубоког фундаирања. Теза се бави проблемом који није у потпуности обрађен у тренутној научној литератури. Тренутни начин пројектовања хоризонтално оптерећених група шипова, који разматра оптерећење у два ортогонална правца (X, Y) проширен је додатним случајем оптерећења произвољног правца. Утицај произвољног правца оптерећења описан је кроз концепт фактора интеракције, и због тога се директно може применити у свакодневной инжењерској пракси. Такође, кандидат је развио веома ефикасне рачунарске програме за аутоматизацију целокупне процедуре прорачуна на већем броју рачунара, и доказ таквог концепта је приказан кроз представљену нумеричку анализу, са могућностима за лаку надоградњу за примену на друге проблеме у геотехници. Применом оваквог концепта на проблем група шипова оптерећених хоризонталним оптерећењем, теза по први пут пружа потпуни сет података о расподели оптерећења и максималних момената савијања у групи шипова, у функцији конфигурације групе, врсте тла, правца оптерећења и нивоа оптерећења.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде докторске дисертације, кандидат је проучио релевантну литературу. Навео је 136 референци које су релевантне за област дисертације. Цитиране референце обухватају широк опсег тема обрађених у дисертацији и чине одличну основу за будући рад у области дисертације. Кандидат се адекватно позивао на постојећу литературу током израде рада.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

Описани научни приступ заснован на концепту "нумеричког експеримента" у потпуности испуњава захтеве докторске дисертације. Кандидат је детаљно анализирао постојећу литературу о хоризонтално оптерећеним групама шипова, узимајући у обзир постојећу базу експерименталних резултата и нумеричке методе прорачуна. На основу приказаног прегледа претходних истраживања, одговарајући параметри разматраног проблема су идентификовани "argiоi" анализом осетљивости. Одговарајући нумерички модел је критички одабран и потврђен. Развој рачунарских програма у оквиру дисертације захтевао је много времена током овог истраживања. Међутим, такво решење је у потпуности оправдано, имајући у виду сложеност обраде резултата анализе и значајно смањење укупног времена за прорачун током одабира и валидације нумеричког модела и параметарске анализе (укупно више од 3000 МКЕ симулација). Може се закључити да је кандидат применио одговарајуће научне методе, као и савремене технике нумеричке анализе како би остварио предложене циљеве дисертације. Неке од примењених научних метода сумиране су у наставку:

- метода коначних елемената (МКЕ),
- нелинеарна анализа групе шипова оптерећене хоризонталним оптерећењем применом МКЕ,
- интеракција тла и конструкције,
- објектно оријентисано програмирање у Python-у,
- методе дистрибуираног рачунања.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати представљени у дисертацији су проширење тренутне инжењерске праксе пројектовања хоризонтално оптерећених група шипова. Постоји читав низ инжењерских конструкција где је разматрање утицаја хоризонталног оптерећења произвољног правца од великог практичног значаја. То су конструкције оптерећене значајним оптерећењима која су стохастичког карактера, као што су оптерећења од ветра, земљотреса, таласа, удара брода итд. Ова дисертација је нагласила значајну промену силе у одређеним шиповима унутар групе приликом промене правца оптерећења. Ова тврдња има веома важну практичну примену, јер се ови шипови могу сматрати осетљивим. Параметарска анализа приказана у дисертацији покрива широк спектар могућих практичних ситуација, разматрајући различите услове у тлу, конфигурације групе шипова, ниво и правац дејства хоризонталног оптерећења. Приказани резултати могу се користити за процену понашања групе шипова у идејној и главној фази пројектовања. Такође, приказани рачунарски програми могу се лако проширити за примену на друге инжењерске проблеме, што концепт аутоматизације вишеструких нумеричких симулација приближава свакодневној инжењерској пракси. Приказана су оригинална решења за све фазе такве анализе.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Кандидат је стекао значајну самосталност у научном раду кроз процес припреме и израде докторске дисертације, полагањем испита на факултету, активним учешћем на SEEFORM семинарима, студијским боравцима на престижном европском универзитету и објављивањем научних радова. Кандидат је радио у међународној научној заједници, одабрао је савремене методе, унапредио ове методе и значајно допринео напретку заједнице. Кандидат је кроз свој рад такође показао способност за критичку анализу научне литературе, развој и предлагање оригиналних решења која доводе до бољих резултата у поређењу са постојећим. Све заједно потврђује научну зрелост и изузетан истраживачки потенцијал кандидата у области грађевинске геотехнике.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС ДИСЕРТАЦИЈЕ

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Основни научни доприноси у дисертацији су:

1. Поређење различитих техника моделирања хоризонтално оптерећених шипова методом коначних елемената (МКЕ) и препоруке за адекватан МКЕ нумерички модел групе шипова оптерећене хоризонталним оптерећењем;
2. Развој и препоруке нумеричких поступака за обраду резултата нумеричке анализе хоризонтално оптерећене групе шипова у МКЕ;
3. Препоруке комплетног сета фактора интеракције за различите групе шипова оптерећене хоризонталним оптерећењем произвољног правца, под различитим нивоима оптерећења;
4. Развој рачунарских програма за аутоматизацију вишеструких нумеричких симулација у програму PLAXIS 3D, са графичким корисничким интерфејсом;
5. Развој рачунарских праграма за примену више рачунара током нумеричке анализе у програму PLAXIS 3D, са графичким корисничким интерфејсом.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Кандидат је предложио и потврдио МКЕ нумерички модел групе шипова оптерећене статичким хоризонталним оптерећењем произвољног правца. Применом овог модела, кандидат је спровео опсежну студију утицаја конфигурације групе шипова, правца оптерећења, размака шипова, врсте тла и нивоа оптерећења на одговор групе шипова. Добијени резултати, приказани у форми фактора интеракције за различите шипове, представљају значајан напредак у односу на тренутно стање у овој области. Значај ових резултата за инжењерску праксу је велики, с обзиром на чињеницу да многе инжењерске конструкције могу бити изложене хоризонталним оптерећењима произвољног правца и да постојеће методе прорачуна не узимају ове случајеве у обзир. Поред фактора интеракције, који су главни допринос ове тезе, представљен је концепт осетљивих шипова у односу на правац оптерећења, што може мотивисати даља истраживања у овој области и довести до пројектовања робуснијих група шипова.

Добијени резултати представљају одличну основу и мотивацију за даље истраживање. Иако је приказани МКЕ нумерички експеримент пружио значајан увид у понашање групе шипова оптерећене хоризонталним оптерећењем, могу се урадити и додатне експерименталне студије применом класичних (нпр. центрифуга) или савремених (нпр. PIV) техника. Постојеће методе нумеричке анализе, као што су "embedded beam" модел у МКЕ или "Strain Wedge" модел могу се проширити за случај произвољног правца дејства хоризонталног оптерећења. Такође, анализирани случајеви група шипова правилног (квадратног или правоугаоног) облика могу се проширити случајем група неправилног облика.

4.3. Верификација научних доприноса

Током свог истраживања, кандидат је објавио следеће радове из области истраживања:

Категорија M23:

1. Vukićević M, **Marjanović M**, Pujević V, Obradović N. Evaluation of methods for predicting axial capacity of jacked-in and driven piles in cohesive soils. *Građevinar*. 2018;70(8):685-693. doi:10.14256/JCE.2175.2017

Категорија M33:

1. **Marjanović M**, Vukićević M, König D, Schanz T, Schäfer R. Modeling of laterally loaded piles using embedded beam elements. In: Bešević M, Miličić I, Gabrić O, Dulić O, eds. *Proceedings of the International Conference "Contemporary Achievements in Civil Engineering 2016."* Subotica, Serbia, Serbia: University of Novi Sad - Faculty of Civi Engineering Subotica; 2016:349-358. doi:10.14415/konferencijaGFS 2016.035
2. Vukićević M, **Marjanović M**, Pujević V, Obradović N, Jocković S. Design of foundations rehabilitation of Faculty of Chemistry in Belgrade with analysis of MEGA piles' capacity. In: Folić R, ed. *Proceedings of the 7th International Conference "Geotechnics in Civil Engineering."* Šabac, Serbia: Association of Civil Engineers of Serbia; 2017:147-154.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу претходне анализе приложене докторске дисертације, испуњености задатака и циљева истраживања, примењене методологије, научног доприноса и добијених резултата, може се констатовати да докторска дисертација под насловом **АНАЛИЗА ИНТЕРАКЦИЈЕ ШИПОВА У ГРУПИ ОПТЕРЕЂЕНОЈ ХОРИЗОНТАЛНИМ ОПТЕРЕЂЕЊЕМ ПРОИЗВОЉНОГ ПРАВЦА** представља значајан и оригинални научни допринос и потврду да је кандидат **Милош Марјановић** способан за самостални научно-истраживачки рад.

На основу напред изнетог, Комисија предлаже Наставно-научном већу Грађевинског факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација **АНАЛИЗА ИНТЕРАКЦИЈЕ ШИПОВА У ГРУПИ ОПТЕРЕЂЕНОЈ ХОРИЗОНТАЛНИМ ОПТЕРЕЂЕЊЕМ ПРОИЗВОЉНОГ ПРАВЦА** кандидата Милоша Марјановића прихвати, изложи на увид јавности и упути на коначно усвајање Већу научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду за давање сагласности за јавну одбрану докторске дисертације.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
др Мирјана Вукићевић, редовни професор
Грађевински факултет Универзитета у Београду

.....
Dr.-Ing. Diethard König, виши научни сарадник (AkadOR)
Ruhr University Bochum, Department of Civil and
Environmental Engineering

.....
др Сања Јоцковић, доцент
Грађевински факултет Универзитета у Београду

.....
др Селимир Леловић, доцент
Грађевински факултет Универзитета у Београду

.....
др Петар Сантрач, ванредни професор
Универзитет у Новом Саду, Грађевински факултет Суботица