

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Кристине Костадиновић Вранешевић

Одлуком Наставно-научног већа Грађевинског факултета Универзитета у Београду бр. 77/13-23 од 21.3.2025. године, именовани смо за чланове Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Кристине Костадиновић Вранешевић, маг. инж. грађ. под насловом:

МЕТОДА СИМУЛАЦИЈЕ ВЕЛИКИХ ВРТЛОГА ЗА УТИЦАЈЕ ВЕТРА У УРБАНИМ СРЕДИНАМА

Докторска дисертација је написана на енглеском језику. Наслов дисертације на енглеском језику гласи:

VALIDATED LARGE-EDDY SIMULATION METHOD FOR WIND EFFECTS IN URBAN AREAS

После прегледа достављене дисертације и других пратећих материјала, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

- 8.11.2013 – Кандидат је уписао Докторске академске студије на Грађевинском факултету Универзитета у Београду, на студијском програму Грађевинарство;
- 23.3.2023 – На седници Катедре за техничку механику и теорију конструкција кандидат је изложио предложену тему докторске дисертације под насловом „Метода симулације великих вртлога за утицаје ветра у урбаним срединама” (на енглеском језику “Validated large-eddy simulation method for wind effects in urban areas”). Комисија коју је образовало Веће Катедре је прихватила тему докторске дисертације и предложила кандидату да тему пријави Наставно-научном већу Грађевинског факултета Универзитета у Београду;
- 27.3.2023 – Кандидат је пријавио тему докторске дисертације Наставно-научном већу Грађевинског факултета Универзитета у Београду;
- 30.3.2023 – Наставно-научно веће Грађевинског факултета Универзитета у Београду именовало је Комисију за писање извештаја о оцени научне заснованости теме докторске дисертације у саставу: доц. др Анина Глумац, в. проф. др Витомир Рацић и проф. др Александар Ћоћић (Одлука бр. 77/4-23 од 31.3.2023);
- 27.4.2023 – Наставно-научно веће Грађевинског факултета Универзитета у Београду прихватило је извештај Комисије за оцену научне заснованости теме докторске дисертације и своју одлуку доставило Већу научних области грађевинско–урбанистичких наука Универзитета у Београду на давање сагласности (Одлука бр. 77/7-23 од 28.4.2023).

- 9.5.2023 – Веће научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду дало је сагласност на предлог теме докторске дисертације под насловом „Метода симулације великих вртлога за утицаје ветра у урбаним срединама” (на енглеском језику “Validated large-eddy simulation method for wind effects in urban areas”) (Одлука бр. 61206-1603/2-23 од 9.5.2023).
- 12.3.2025 – Докторска дисертација је предата на преглед и оцену.
- На седници одржаној 20.3.2025. године (Одлука бр. 77/13-23 од 21.3.2025) Наставно-научно веће Грађевинског факултета у Београду именовало је Комисију за оцену и одбрану докторске дисертације у следећем саставу:
 - др Витомир Рацић, ванредни професор, Универзитет у Београду, Грађевински факултет,
 - др Јасна Плавшић, редовни професор, Универзитет у Београду, Грађевински факултет,
 - др Александар Ђоћић, редовни професор, Универзитет у Београду, Машински факултет,
 - др Хасан Хемида, ванредни професор, Универзитет у Бирмингему, Факултет за инжењерство,
 - др Ђорђе Романић, МакГил Универзитет, Одељење за атмосферске и океанске науке.

1.2. Научна област дисертације

Дисертација кандидата Кристине Костадиновић Вранешевић припада научној области Грађевинско инжењерство и ужој научној области Техничка механика и теорија конструкција. За ментора одређена је др Анина Глумац, доцент Грађевинског факултета Универзитета у Београду.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Кристина Костадиновић Вранешевић, мастер инжењер грађевинарства, рођена је 30.06.1988. године у Ужицу, Република Србија, Југославија. Основну и средњу техничку школу је завршила у Ужицу 2003. године.

Грађевински факултет Универзитета у Београду - студијски програм грађевинарство уписала 2007. године. Основне академске студије завршила 2011. године на модулу Конструкције, са просечном оценом 9.04/10. Завршни рад - Синтезни пројекат из области бетонских конструкција, под насловом "*Пројекат конструкције пословно-стамбене зграде По + П + 9*", одбранила је са оценом 10. Након завршених основних академских студија, уписала је дипломске академске - мастер студије 2011. године на Грађевинском факултету Универзитета у Београду, модул Конструкције. Мастер студије је завршила 2013. године са просечном оценом 9.29/10. Завршни - Мастер рад из области лаких металних конструкција, под насловом "*Примена лаких металних конструкција на примеру пројекта спортске дворане*" одбранила је са оценом 10. Докторске академске студије на Грађевинском факултету Универзитета у Београду уписала је 2013. године, у оквиру којих је положила свих осам испита са просечном оценом 9.63/10.

Професионалну каријеру започела је у мају 2013. године у компанији ДЕЛ ИНГ ДОО, Београд, као инжењер приправник. У оквиру радног места обављала је послове пројектовања челичних, бетонских и дрвених конструкција, израде и припреме пројектне документације и колаборације са архитектама и извођачима радова. У новембру 2014. године изабрана је у звање асистента на Грађевинском факултету Универзитета у Београду, где и данас ради.

У свом научно-истраживачком раду, Кристина Костадиновић Вранешевић је оријентисана на изучавање проблематике дејства ветра на конструкције. Она изучава примену нумеричке

динамике флуида (Computational Fluid Dynamics - CFD) у анализи тока ветра у урбаним срединама, користећи методу симулације великих вртлога (Large-Eddy Simulation - LES). Резултате нумеричких симулација тока ветра око високих објеката примењује на поље енергије ветра, као и оптерећење ветром на високе објекте. Од јануара 2023. године део је COST акције CA20109 - MODENERLANDS - Modular Energy Islands for Sustainability and Resilience.

Као аутор и коаутор, Кристина Костадиновић Вранешевић је објавила 3 рада у врхунском међународном часопису (M21), 1 рад у истакнутом међународном часопису (M22), 1 рад у националном часопису међународног значаја (M24), 10 радова је публиковано у зборницима са конференција међународног значаја (M33), док је 2 рада објављено у зборницима са конференција националног значаја (M63).

У браку је са Филипом Вранешевићем и имају две ћерке, Вишњу и Ању. Породица живи у Београду.

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Кристине Костадиновић Вранешевић, маг. инж. грађ., под називом „Метода симулације великих вртлога за утицаје ветра у урбаним срединама” (на енглеском језику “Validated large-eddy simulation method for wind effects in urban areas”) је написана на енглеском језику, на 115 страна А4 формата. Дисертација садржи: 64 слике, 7 табела и 195 библиографских референци.

Докторска дисертација се састоји од следећих поглавља:

1. Увод
2. Стање истраживања
3. Теоријски оквир
4. Методологија
5. Валидација
6. Динамика тока ветра
7. Урбана енергија ветра
8. Оптерећење ветром на високе објекте
9. Закључна разматрања

Поред наведеног, докторска дисертација садржи: насловну страну на енглеском и српском језику, страну са подацима о ментору и члановима Комисије, сажетак докторске дисертације на енглеском и српском језику, захвалницу, садржај, списак слика, списак табела, списак коришћених ознака, литературу, прилоге, кратку биографију аутора са листом објављених радова, Изјаву о ауторству, Изјаву о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада и Изјаву о коришћењу.

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

У првом поглављу дат је увод у истраживање кроз приказ важности одређивања утицаја ветра у урбаним срединама. Две кључне области примене су наглашене: урбана енергија ветра и оптерећење ветром на фасаде и кровове. За ове две области су идентификовани неки од проблема који су се јавили у досадашњој пракси, на основу претходних студија. Ово је праћено компаративним приказом основних метода које се користе за одређивање утицаја ветра у урбаним срединама. Формулисан је проблем и постављени су јасни циљеви дисертације кроз дефинисање главних питања на која дисертација треба да одговори. Усвојена је и методологија. Додатно, у оквиру првог поглавља, представљен је преглед публикација

кандидата који су директно произашли из ове дисертације. Поглавља се завршава кратким приказом структуре докторске дисертације.

Друго и треће поглавље пружају преглед литературе, приказујући опште трендове у истраживању утицаја ветра у урбаним срединама и теоријске принципима релевантне за ово истраживање. Друго поглавље се бави анализом тренутног стања истраживања у области нумеричке динамике флуида и њене примене у областима урбане енергије ветра и оптерећења ветром на високе објекте, истичући кључне изазове и недостатке. На њега се наставља треће поглавље које пружа теоријску основу за приказано истраживање. Оно обухвата основе турбулентног тока и алгоритме за нумеричко моделирање. Дате су и једначине кретања, као и детаљи њиховог нумеричког решавања и основни принципи LES методе.

Четврто поглавље описује методологију коришћену у истраживању. На самом почетку је представљен модел зграде и анализиране конфигурације. То је даље праћено описом постојећег експеримента у аеротунелу, чији подаци су коришћени за валидацију нумеричких симулација. На крају поглавља су дати детаљи нумеричких симулација, укључујући нумеричка подешавања, димензије домена, детаље усвојених мрежа и граничне услове.

Пето поглавље представља резултате поређења величина добијених из нумеричких симулација са доступним мерењима у аеротунелу. Први део анализира конвергенцију величина од интереса (брзине и притиска) кроз праћење резидуала њихових статистичких момената првог и другог реда. Након тога, следи поређење профила долазног ветра, струјања изнад крова и притиска на крову и фасадама зграде.

Следећа три поглавља, шест, седам и осам, усмерена су на нумеричке резултате и њихову интерпретацију. Шесто поглавље пружа детаљну анализу струјања ветра. Анализиране су три конфигурације: изолована висока зграда и две групне конфигурације од пет идентичних високих зграда у два распореда („крст” и „х”). Код изолованог објекта у студију су укључени и утицаји различитог облика крова, раван и делимично закошен кров, на струјање ветра. У групним конфигурацијама посебна пажња је посвећена утицају суседних зграда на ток ветра око примарне. Након описа тока и идентификације специфичних вртложних структура и њихових карактеристика, резултати су даље интерпретирани у контексту урбане енергије ветра у седмом поглављу и оптерећења ветром на високе зграде у осмом поглављу. Седмо поглавље пружа слику карактеристика тока ветра које су од интереса за убирање енергије ветра, као и расположиве потенцијале. Осмо поглавље је посвећено одређивању вршних коефицијената површинског притиска ветра на кров и фасаду. Анализиране су две методе статистичког третмана ових вредности, традиционална „епохална” метода и метода прекорачења прага. Додатно је предложен оквир за поређење вршних коефицијената притисака у случају различите дужине сигнала у експериментима и нумерици који укључује анализу непоузданости. Сва три поглавља са резултатима се завршавају закључцима.

У завршном, деветом, поглављу је дат свеукупан сажетак истраживања приказаног у оквиру докторске дисертације. Издвојени су главни научни доприноси дисертације и дате препоруке за будућа истраживања.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Недавна истраживања у области нумеричке динамике флуида су показала прецизност LES методе у моделирању атмосферског граничног слоја и турбулентних токова. Међутим, упркос својој тачности, LES метода остаје рачунарски захтевна и недостатак стандардизованих

смерница за моделирање захтева даља истраживања. Ова дисертација доприноси области развојем нумеричког модела аеротунела, у литератури познатог и као „виртуелни аеротунел”, који ефикасно решава изазов обезбеђивања исправног долазног турбулентног тока. Поред тога, дисертација пружа ригорозну валидацију нумеричких симулација кроз поређење са доступним експерименталним подацима, укључујући мерења површинског притиска и брзине на и око високих зграда. Овај приступ омогућава високу временску и просторну резолуцију свих променљивих тока, пружајући детаљан увид у динамику тока који превазилази доступне експерименталне резултате. Такође, отвара се могућност примене на различите проблеме, као што је показано у областима урбане енергије ветра и оптерећења ветром на конструкције. Систематским поређењем експерименталних и нумеричких резултата, ово истраживање доприноси поузданости LES методе за студије утицаја ветра у урбаним срединама, унапређујући њену практичну примену.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

Током израде докторске дисертације кандидат је проучио релевантну литературу и укључио 195 референце. Оне се односе на књиге, докторске дисертације и научне радове релевантне за област истраживања дисертације. Дати преглед литературе чини одличну основу за будући рад у области дисертације. Кандидат се у оквиру дисертације адекватно позивао на постојећу литературу и истакао најважније закључке који из ње следе.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

За потребе истраживања у докторској дисертацији кандидат је користио адекватне научне методе, као и савремену методу нумеричке динамике флуида (CFD) за решавање проблема утицаја ветра у урбаним срединама. Коришћене се следеће научне методе:

- Метода симулације великих вртлога (LES) за турбулентни модел:
 - Метода коначних запремина за дискретизацију интегралних облика полазног система основних једначина;
 - Итеративни PISO (Pressure Implicit with Splitting of Operators) алгоритам за решавање система дискретизованих једначина;
 - Апроксимација временских и просторних интеграла нумеричким шемама другог реда тачности;
 - Нојманови, Дириклеови и мешовити гранични и почетни услови у нумеричком прорачуну;
 - Нумерички прорачуни су извршени коришћењем софтвера OpenFOAM®;
- Постављање ригорозне процедуре за валидацију, узимајући у обзир одговарајуће резултате мерења у аеротунелу;
- Обрада нумеричких и експерименталних резултата, коришћењем различитих софтверских пакета, укључујући програмирање у MATLAB-у.

3.4. Применљивост остварених резултата

Валидоване нумеричке симулације, које нуде високу просторну и временску резолуцију, омогућавају дубљи увид у динамику тока ветра око високих зграда. Ово доприноси бољем разумевању утицаја ветра и могућностима за ублажавање његових негативних ефеката у урбаним срединама. Истраживање је посебно усмерено на процену потенцијала енергије ветра у зонама крова високих зграда, како у изолованим тако и у групним конфигурацијама, и пружа

препоруке за оптимално постављање и избор типа ветротурбина. Овакав приступ подстиче ефикаснију употребу обновљивих извора енергије у урбаним срединама. Поред тога, предложени поступак за поређење предикције вршног коефицијента притиска из LES-а са експерименталним подацима показала се као ефикасна, потврђујући поузданост ове технике у симулацији сложених урбаних токова. Ово би могло отворити пут за њену ширу примену у пројектовању зграда. Стога се може закључити да резултати ове докторске дисертације имају велики потенцијал за широку примену у пројектовању, урбанистичком планирању и коришћењу обновљивих извора енергије.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Чланови Комисије сматрају да је кандидат кроз рад на докторској дисертацији показао да поседује способност спровођења научно-истраживачког рада, под чиме се подразумева способност да препозна, дефинише и реши научне и инжењерске проблеме. Способност је показана кроз:

- Детаљан преглед литературе са критичким освртом и идентификацијом недостатака у научним истраживањима,
- Дефинисање јасних циљева рада и концептуализацијом,
- Спровођење обимног нумеричког испитивања, користећи супер-рачунар на Институту за физику Универзитета у Београду,
- Обраду великог броја података, како оних добијених из нумеричких симулација, тако и доступних експерименталних мерења у аеротунелу, користећи сложене статистичке методе,
- Извођење детаљних анализа добијених резултата и извођење закључака,
- Објављивање четири рада у часописима са SCI листе од којих је на три рада категорије M21 кандидат први аутор и
- Излагањем на три водеће међународне конференције из области инжењерства ветром.

Сва наведено потврђује научну зрелост и истраживачки потенцијал кандидата.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Основни научни доприноси у дисертацији огледају се у:

- Тачном и свеобухватном опису динамике урбаног ветра коришћењем LES методе, приказан кроз ток око изоловане вишеспратнице и кластера пет зграда у два распореда, са посебним нагласком на зону крова;
- Одређивању потенцијала за убирање енергије ветра са препоруком начина зонирања истих, као и типом ветротурбине и оптималне локације инсталације на крову високих објеката, у случају:
 - изолованог високог објекта и два различита облика крова (раван и делимично закошен),
 - кластера од пет високих објеката са приказом утицаја положаја суседних објеката;
- Предложеном поступку поређења два сигнала (у конкретном случају притиска) различите дужине и утврђивању тачности предикције вршног коефицијента површинског притиска из LES-а кроз поређење са доступним експерименталним

мерењима, укључујући анализу непоузданости и утицај статистичког третмана вршних вредности коефицијента притиска.

Остварени квалитет самих нумеричких симулација, потврђен кроз поређења са доступним експерименталним подацима, доприноси афирмацији саме LES методе као поузданог алата у симулирању комплексних урбаних токова ветра.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Ова докторска дисертација даје неколико кључних доприноса области инжењерства ветра, посебно у примени LES методе за проучавање струјања ветра у урбаним срединама. Истраживање пружа нове увиде у динамику струјања ветра око високих зграда, унапређује процену потенцијала енергије ветра и продубљује разумевање притисака површинских притисака изазваних ветром. Главни доприноси су сумирани у наставку кроз три основне области истраживања:

- **Динамика струјања ветра:** Дисертација испитује утицај различитих облика крова и различитих конфигурација високих зграда на динамику тока ветра. Такође наглашава значај оваквих студија, истичући мањак валидованих LES симулација високе резолуције у овој области.
- **Процена потенцијала енергије ветра:** Дисертација уводи специфичан метод зонирања за процену потенцијала за убирање енергије ветра, који се може лако прилагодити на сличне примене. Овај приступ, у комбинацији са унапређеним разумевањем утицаја облика крова на обрасце струјања ветра, води до закључка да су делимично закошени кровови посебно погодни за прикупљање енергије ветра у урбаним срединама. Поред тога, истраживање пружа вредне увиде у случају групних конфигурација високих зграда, идентификујући кључне правце ветра који нуде већи потенцијал за искоришћење енергије ветра.
- **Анализа оптерећења ветром:** Дисертација се бави честим проблемом разлике у дужини сигнала између експерименталних мерења (која обично садрже дуге сигнале) и нумеричких симулација (које су рачунарски захтевне, што доводи до краћих сигнала). Разматрају се релевантне и савремена методе за процену вршних коефицијената притиска. Дисертација предлаже оквир за валидовање вршних коефицијената притиска добијених LES симулацијама у поређењу са експерименталним подацима. Значај овога лежи у чињеници да су вршни коефицијенти притиска критични за пројектовање зграда. Овај рад има ширу примену, јер би могао допринети успостављању стандардизованог поступка валидације LES резултата вршних притисака.

4.3. Верификација научних доприноса

У току истраживачког рада у ужој области теме докторске дисертације, кандидат Кристина Костадиновић Вранешевић објавила је следеће радове:

- Категорија M21
 - **K. Kostadinović Vranešević, G. Vita, S.P.A. Bordas, A. Šarkić Glumac, “Furthering knowledge on the flow pattern around high-rise buildings: LES investigation of the wind energy potential”,** Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 226 (2022), p. 105029, doi: 10.1016/j.jweia. 2022.105029.

- **K. Kostadinović Vranešević**, S. Ćorić, A. Šarkić Glumac, “*LES study on the urban wind energy resources above the roof of buildings in generic cluster arrangements: Impact of building position*”, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 240 (2023), p. 105503, doi: 10.1016/j.jweia.2023.105503.
- **K. Kostadinović Vranešević**, A. Šarkić Glumac, “*Peak pressures on high-rise buildings roof: A dual approach through validated LES and wind tunnel experiments with uncertainty quantification*”, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics 250 (2024), p. 105784, doi: 10.1016/j.jweia.2024.105784.
- Категорија M22
 - H. Hemida, G. Vita, **K. Kostadinović Vranešević**, R. Hoffer, A. Šarkić Glumac, “*On the Flow over High-rise Building for Wind Energy Harvesting: An Experimental Investigation of Wind Speed and Surface Pressure*”, Applied Sciences 10.15 (2020), p. 5283, doi: 10.3390/app10155283.
- Категорија M34
 - **K. Kostadinović Vranešević**, A. Šarkić Glumac, S. Bordas, “*The influence of exposure on wind flow characteristics around a high-rise building*”, The 8th European-African conference on wind engineering (8EACWE), Bucharest, Romania, 2022, ISBN: 978-973-100-532-4.
 - **K. Kostadinović Vranešević**, A. Šarkić Glumac, “*Impact of surroundings on the local peak pressure in high-rise building clusters*”, The 16th International Conference on Wind Engineering (ICWE16), Florence, Italy, 2023.
 - **K. Kostadinović Vranešević**, A. Šarkić Glumac, “*Peak Pressure Evaluation on High-Rise Buildings: Insights from Experimental and LES Analyses*”, The 9th International Colloquium on Bluff Body Aerodynamics and Applications (BBAA9), Birmingham, UK, 2024.

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу претходно изнетих чињеница о поднетој докторској дисертацији, као и евалуације у погледу испуњености задатака и циљева истраживања, примењене методологије, научног доприноса и добијених резултата, закључујемо да докторска дисертација под насловом **МЕТОДА СИМУЛАЦИЈЕ ВЕЛИКИХ ВРТЛОГА ЗА УТИЦАЈ ВЕТРА У УРБАНИМ СРЕДИНАМА** представља значајан и оригиналан научни допринос. Рад доказује да је кандидат, Кристина Костадиновић Вранешевић, способан за самостално научно истраживање. Овај рад је такође прошао евалуацију шире научне заједнице, са четири рада објављена у високоранжираним часописима са рецензијом (три као први аутор), као и три рада у зборницима радова међународних конференција.

На основу свега изнетог, Комисија предлаже Научно-научном већу Грађевинског факултета Универзитета у Београду да се прихвати докторска дисертација Кристине Костадиновић Вранешевић, под насловом **МЕТОДА СИМУЛАЦИЈЕ ВЕЛИКИХ ВРТЛОГА ЗА УТИЦАЈ ВЕТРА У УРБАНИМ СРЕДИНАМА**, и да се одобри њена јавна одбрану.

Сви изрази у овом Реферату који се односе на кандидаткињу, а изражени су у мушком граматичком роду, односе се на женски род.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

В. проф. др Витомир Рацић

Универзитета у Београду, Грађевински факултет

Проф. др Јасна Плавшић

Универзитета у Београду, Грађевински факултет

Проф. др Александар Ђоћић

Универзитета у Београду, Машински факултет

В. проф. др Хасан Хемида

Универзитет у Бирмингему, Факултет за инжењерство

Доц. др Ђорђе Романић

МакГил Универзитет, Одељење за атмосферске и океанске науке