

НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ

Предмет: Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата Јелена Милошевић дипл. инж. арх.

Одлуком 01-954/2-10.3 бр. од 13. јула 2015. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Јелене Милошевић, дипл. инж. арх. под насловом

ИЗОГЕОМЕТРИЈСКА АНАЛИЗА У МОРФОГЕНЕЗИ ПОВРШИНСКИХ КОНСТРУКТИВНИХ СИСТЕМА

После прегледа достављене Дисертације и других пратећих материјала и разговора са Кандидатом, Комисија је сачинила следећи

РЕФЕРАТ

1. УВОД

1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације

Кандидат је на Универзитету у Београду-Архитектонском факултету уписала Докторске академске студије научног карактера (области истраживања *Архитектура и урбанизам* ужа научна област истраживања *Конструктивни системи*) школске 2009/2010 године.

Пријаву теме докторске дисертације кандидата предаје у септембру 2012. године.

На основу члана 98. Статута Архитектонског факултета у Београду („Сл. билтен факултета“, бр. 80/80, 84/10 и 89/12), а у вези са чланом 28. Правилника о докторским студијама („Сл. билтен АФ“, бр. 81/08) и Одлуком Већа докторских студија Архитектонског факултета у Београду од 13. септембра 2012. године, Наставно-научно веће Факултета је на седници одржаној дана 01. октобра 2012. године, донело Одлуку број 01-1469/2-6.9. којом је образована Комисија за оцену испуњености услова кандидата Јелене Милошевић, дипл. инж. арх. и теме докторске дисертације, под насловом „Имплементација изогеометријске анализе у процес морфогенезе површинских конструктивних система“, у саставу:

- др Миодраг Несторовић, редовни професор Архитектонског факултета у Београду, ментор
- др Глигор Раденковић, ванредни професор Грађевинског факултета у Београду и
- др Ташко Манески, редовни професор Машинског факултета у Београду.

На основу члана 16. став 2. и 3. Правилника о већима научних области на Универзитету у Београду („Гласник Универзитета у Београду“, бр. 134/07) и захтева Архитектонског факултета, бр. 03/1236-2 од 17. октобра 2012. године, Веће научних области грађевинско-урбанистичких наука, на седници одржаној 18. децембра 2012. године, донело је Закључак

бр. 06-21060/11-12, којим се одлаже разматрање захтева за давање сагласности на предлог теме докторске дисертације кандидата Јелене Милошевић, под називом „Имплементација изогометријске анализе у процес морфогенезе површинских конструктивних система“, и да се сугерише Факултету да у примереном року промени наслов. Сугестија Већа је да наслов гласи: „Изогеометријска анализа морфогенезе површинских конструктивних система“.

На основу члана 98. Статута Архитектонског факултета у Београду („Сл. билтен факултета“, бр. 80/80, 84/10, 88/12), а у вези са чланом 28. Правилника о докторским студијама ("Сл. билтен АФ", бр. 81/08), Наставно-научно веће Факултета је на седници одржаној дана 21.01.2013. године донело Одлуку број 01-91/2-6.6., којом се усваја Допуна Извештаја Комисија за оцену испуњености услова кандидата Јелене Милошевић, дипл. инж. арх. и теме докторске дисертације, под насловом "Изогеометријска анализа у морфогенези површинских конструктивних система".

На основу члана 30. Закона о високом образовању („Сл. гласник РС“, бр. 76/05, 100/07-актуелно тумачење, 97/08, 44/10, 93/12), а у вези са чланом 100. Статута Архитектонског факултета у Београду („Сл. билтен АФ“, бр. 80/08, 84/10 и 89/12), члановим 31-34. Правилника о докторским студијама Архитектонског факултета у Београду („Сл. билтен АФ“, бр. 81/08) и Сагласности Већа научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду бр. 61206-1173/2-13 од 09. априла 2013. године, Наставно-научно веће Факултета је, на седници одржаној 13. маја 2013. године, донело Одлуку број 01-585/2-4.11., да се одобрава Јелени Милошевић, дипл. инж. арх., рад на теми докторске дисертације, под насловом: „Изогеометријска анализ у морфогенези површинских конструктивних система“, и да се за ментора именује проф. др Миодраг Несторовић.

На основу члана 92. став 4. Статута Универзитета у Београду („Сл. Гласник УБ“, бр. 162/11, 167/12, 172/13 и 178/14), члана 38. Статута Архитектонског факултета у Београду („Сл. Билтен АФ“, бр. 89/12- пречишћен текст и 98/14), захтева студента Јелене Милошевић и Одлуке Већа докторских студија Факултета од 06. јула 2015. године, Наставно-научно веће Факултета је, на седници одржаној дана 13. јула 2015. године, донело Одлуку бр. 01-954/2-10.54., којом се одобрава Јелени Милошевић, дипл. инж. арх., студенту докторских академских студија, продужење рока за завршетак започетих студија, за годину дана, односно до 30. септембра 2016. године.

Докторску дисертацију кандидат, уз сагласност ментора, предаје Већу докторских студија у јулу 2015. године.

На основу члана 101. и члана 102. Статута Архитектонског факултета у Београду ("Сл. билтен АФ", бр. 89/12-пречишћен текст и 98/14), члана 37. Правилника о докторским академским студијама ("Сл. билтен АФ", бр. 102/14) и Одлуке Већа докторских студија Факултета од 06. јула 2015. године, Наставно-научно веће Факултета је на седници одржаној дана 13. јула 2015. године, донело Одлуку број 01-954/2-10.3 да се образује Комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Јелене Милошевић, дипл. инж. арх., под насловом: „Изогеометријска анализа у морфогенези површинских конструктивних система“, у саставу:

- Академик Ђорђе Злоковић, редовни члан Српске академије наука и уметности, председник Комисије,
- др Миодраг Несторовић, редовни професор Архитектонског факултета у Београду, ментор и члан Комисије
- др Александар Чуцаковић, ванредни професор Грађевинског факултета у Београду члан Комисије,
- др Ташко Манески, редовни професор Машинског факултета у Београду, члан Комисије.

На основу члана 101. и члана 102. Статута Архитектонског факултета у Београду ("Сл. билтен АФ", бр. 89/12-пречишћен текст и 98/14), члана 37. Правилника о докторским академским студијама ("Сл. билтен АФ", бр. 102/14) и Молбе Комисије за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Јелене Милошевић, дипл. инж. арх., бр. 1275/1 од 07. септембра 2015. године, Наставно-научно веће Факултета је, на седници одржаној, дана 14. септембра 2015. године, донело Одлуку бр. 01-1378/2-7.6. да се одобри продужење рока за израду Извештаја о урађеној докторској дисертацији под насловом: „Изогеометријска анализа у морфогенези површинских конструктивних система“, кандидата Јелене Милошевић, дипл. инж. арх., на период од 45 дана, почев од дана истека рока утврђеног Одлуком бр. 01-954/2-10.3 од 13. јула 2015. године.

1.2. Научна област дисертације

Дисертација припада научној области *Архитектура и урбанизам* и ужој научној области *Конструктивни системи*.

Ментор проф. др Миодраг Несторовић је у научно-истраживачком раду оријентисан на области конструктивних система, просторних структура, геометријског моделовања и нумеричке анализе применом МКЕ, чему иду у прилог бројни радови објављени у научним часописима и публикацијама, монографије и патентна решења.

1.3. Биографски подаци о кандидату

Јелена Милошевић, дипл. инж. арх. рођена је 1981. године у Београду, где је завршила Основну школу "1300 Каплара" и VI београдску гимназију, природно-математички смер. Звање дипломирани инжењер архитектуре стекла је 2006. године на Архитектонском факултету Универзитета у Београду, са просечном оценом 8.43 и оценом 10 на дипломском раду. Школске 2009/10. године је на Архитектонском факултету у Београду уписала Докторске академске студије. У периоду од 2009-2012. године положила је све испите предвиђене наставним планом са просечном оценом 10.00 и оценом 10 на тематском истраживању. 2013. године јој је одобрен рад на докторској дисертацији, под насловом „Изогеометријска анализа у морфогенези површинских конструктивних система“.

Стручни испит је положила 2009. У току 2015. године је савладала програм сталног усавршавања *TRAIN-Training and Research for Academic Newcomers*, организован од стране Универзитета у Београду у оквиру пројекта који се реализује уз подршку Фондације Краља Бодуена. Кандидат говори енглески и руски језик.

Запослена је на Архитектонском факултету у звању истраживач-приправник (2011-2014), истраживач-сарадник (од 2014) и асистент на Департману за Архитектонске технологије за ужу научно односно стручну област Архитектонско конструктерство (од 2015).

У настави на Универзитету у Београду - Архитектонском факултету учествује од 2010. године. Као студент Докторских студија, ангажована је као сарадник у настави на следећим предметима на Основним академским студијама: *Конструктивни системи* (ш.г. 2010/11, 2011/12, 2012/13, 2013/14 и 2014/15), *Студио пројекат 2: Архитектонске конструкције* (ш.г. 2009/10, 2010/11 и 2011/12); као и предметима *Студио пројекат М5.1.* (ш.г. 2011/12, 2013/14) и *Студио пројекат М01-АК* (ш.г. 2014/15) на Мастер академским студијама архитектуре. Као асистент учествовала је на следећим предметима на Основним студијама архитектуре: *Механика и отпорност материјала* (ш.г. 2014/15), *Студио пројекат 2: Архитектонске*

конструкције (ш.г. 2014/15), *Принципи конструисања архитектонских објеката* (ш.г. 2015/16); као и предмету *Студио пројекат M01-AK* (ш.г. 2015/16) на Мастер академским студијама архитектуре. Учествовала је као сарадник у настави на курсу *Advanced Construction and Civil Engineering Technology, Malta College of Arts, Science and Technology* (MCAST), на Малти 2012. године.

Фокус истраживачког рада кандидата су области конструктивних система и просторних структура, морфологије структура, генерисања и оптимизације структура. Учесник је научно-истраживачког пројекта *Развој и примена научних метода у пројектовању и грађењу високоекономичних конструктивних система применом нових технологија* (евиденциони број: TP 36008) Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије (од 2011). Публиковала је 23 научна рада у часописима и зборницима међународних конференција.

Професионално ангажовање кандидата усмерено је на област архитектонског и урбанистичког пројектовања. Као пројектант је радила у предузећу *Archicon* д.о.о. Београд (2006-2011), у коме је вршила функцију заменика директора (2009-2012). Учествовала је у изради седам конкурсних решења, пет идејних и главних архитектонских пројеката, једног урбанистичког пројекта, једног регулационог плана и реализацији једног објекта.

Излагала је на више изложби. Учествовала је у организацији серије догађаја и изложбе *У корак с временом - 50 година предмета Конструктивни системи и Просторне структуре*, Музеј Примењене Уметности у Београду (2013). Била је технички уредник каталога изложбе *Професор архитект Милан Злоковић (1898-1965): Свечаност поводом обележавања 50 година од смрти*, Универзитет у Београду-Архитектонски факултет (2015).

Члан је организација: Српско удружење за геометрију и графику (СУГГ) и *International Association for Shell and Spatial Structures* (IASS).

2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација кандидата Јелене Милошевић дипл. инж. арх. под насловом "Изогеометријска анализа у морфоргензи површинских конструктивних система" написана је на укупно 309 страна. Првих 10 страна Дисертације чине: *Насловна страна* на српском и енглеском језику, страна са информацијама о *Ментору и члановима комисије*, *Изјава захвалности*, стране са *Подацима о докторској дисертацији* на српском и енглеском језику које садрже наслов дисертације, резиме, кључне речи, научну област, ужу научну област и УДК број и *Садржај*. *Текст рада по поглављима са напоменама* дат је на 260 страна. Основни текст укључује 90 напомена, 77 слика, 15 табела. Након текста рада следе *Преглед коришћених акронима*, *Преглед коришћених ознака*, *Преглед илустрација*, *Преглед табела*. *Преглед коришћених Референци* дат је на 16 страна и садржи 260 библиографских јединица (на 14 страна) и 15 публикација аутора (на 2 стране). Прегледом референци обухваћени су само радови чији су делови у докторском раду експлицитно неведени, као и они на које се аутор позива. Затим следе *Прилози*, *Биографија аутора*, *Изјава о ауторству*, *Изјава о истовестности штампане и електронске верзије* и *Изјава о коришћењу*.

Садржај дисертације је следећи:

ПРВИ ДЕО - Увод

- 1.1 Формулација проблема, циљева и задатака
- 1.2 Методологија
- 1.3 Структура рада

ДРУГИ ДЕО - Генерисање површинских конструктивних система

- 2.1 Генеративно пројектовање
 - 2.1.1 Технике генерисања форме површинских система
 - 2.1.1.1 Аналогне технике
 - 2.1.1.2 Дигиталне технике
 - 2.1.2 Морфогенеза
 - 2.1.2.1 Биоапропријација
 - 2.1.2.2 Рачунарска морфогенеза
- 2.2 Генеративна оптимизација
 - 2.2.1 Оптимизација структуралних перформанси
 - 2.2.1.1 Принципи оптимизације
 - 2.2.1.2 Методе оптимизације
 - 2.2.2 Генетски алгоритам
 - 2.2.2.1 Елементи генетског алгоритма
 - 2.2.2.2 Оператори генетског алгоритма
- 2.3 Моделовање система
 - 2.3.1 Геометријско моделовање система
 - 2.3.1.1 *Spline* параметарске криве и површи
 - 2.3.1.2 Технике моделовање геометрије система
 - 2.3.2 Изогеометријско моделовање система
 - 2.3.2.1 Изогеометријски концепт
 - 2.3.2.2 Изогеометријска теорија система
- 2.4 Резиме

ТРЕЋИ ДЕО - Изогеометријска морфогенеза

- 3.1 Основе
 - 3.1.1 Генеративни систем
 - 3.1.1.1 Кључни концепти
 - 3.1.1.2 Приказ основних фаза генеративне процедуре
 - 3.1.2 Модел генеративног система
 - 3.1.2.1 Геометријска и физичка апроксимација
 - 3.1.2.2 Нумеричка апроксимација
- 3.2 Имплементација
 - 3.2.1 Пројектовање генетског алгоритма
 - 3.2.1.1 Функција евалуације
 - 3.2.1.2 Генетско кодирање пројектних варијабли и генетски оператори
 - 3.2.2 Програмска имплементација

- 3.2.2.1 Прототип програмског модула
- 3.2.2.2 Функционални тестови применом на референтним површима
- 3.3 Примена
 - 3.3.1 Прилог концепту тражења форме (*form-finding*)
 - 3.3.1.1 Дефиниција генеративне процедуре за тражење форме
 - 3.3.1.2 Студија случаја: генерисање форме љуске
 - 3.3.2 Прилог концепту унапређења форме (*form-improving*)
 - 3.3.2.1 Дефиниција генеративне процедуре за унапређење форме
 - 3.3.2.2 Студија случаја: генерисање форме мембране
- 3.4 Резиме

ЧЕТВРТИ ДЕО - Закључна разматрања

- 4.1 Сумирање резултата
- 4.2 Смернице за будућа истраживања
- 4.3 Финална размишљања

Преглед коришћених акронима

Преглед коришћених ознака

Преглед илустрација

Преглед табела

Референце

ПРИЛОЗИ

Биографија аутора

Изјава о ауторству

Изјава о истовестности штампане и електронске верзије доктората

Изјава о коришћењу

2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Резултати истраживања организовани су у четири дела подељена на поглавља. Први део је уводни, другим делом обрађена је тема генерисања површинских конструктивних система, трећим делом је приказана изогеометријска морфогенеза, а четвртим делом су обухваћена закључна разматрања.

У оквиру друге целине тема генерисања површинских конструктивних система обрађена је кроз три поглавља - генеративно пројектовање, генеративна оптимизација и моделовање система.

Генеративно пројектовање је поглавље којим је разматрана примена овог концепта и дат преглед различитих метода, техника и алата за проналажење форме (*form-finding*). Затим је посебно обрађена морфогенеза, као један од кључних концепата рада. Преглед је илустрован примерима у којима се примењују ови поступци. Примена појединих метода и алата на конкретним задацима у функцији су припреме за главне експерименталне пројекте приказане у наставку рада.

Генеративна оптимизација представља поглавље у оквиру кога је дат преглед основних принципа проблема оптимизације структуралних перформанси конструктивних система и различитих стратегија, поступака и алгоритама који се примењују у ту сврху. Овај преглед представља шири контекст за детаљнији приказ теме генетског алгорита, који је примењен у истраживању. Концепт генетског алгорита, начин његовог оперисања, његови елементи и оператори обухваћени приказом, илустровани су примером.

Моделовање система, је поглавље организовано у два потпоглавља која обрађују кључне технологије за овај рад - геометријско и изогеометријско моделовање. Геометријско моделовање приказује поступке дескрипције геометрије система помоћу *Spline* параметарских кривих и површи. Полазећи од развоја идеја у овој области у наставку су обрађене основне карактеристике, класификација, као и методе генерисања површи и проверене кроз примере. У оквиру потпоглавља изогеометријско моделовања описана је NURBS заснована изогеометријска анализа. Поглављем је дата приказ изогеометријског концепта и изогеометријске теорије површинских система без ротација.

У оквиру трећег дела приказана је процедура изогеометријске морфогенезе, развијена овим радом. Дефинисање концепта, формулација, програмска имплементација и евалуација ове процедуре у смислу могућности њене примене у процесу пројектовања површинских конструктивних система, представљају централно место рада. Процедура је детаљно приказана кроз три поглавља основе, имплементација и примена.

Основе процедуре обухватају увођење и појашњење кључних концепата за развој предложене методе. Затим је дат детаљан преглед и опис свих фаза генеративне процедуре. У овом поглављу је дефинисан модел генеративног система, односно геометријска, физичка и нумеричка апроксимација.

Имплементација је поглавље у оквиру кога се описује рачунарска имплементација претходно дефинисане процедуре. Посебан акценат је на прилагођавању делова генетског алгорита специфичном проблему - функције евалуације и пројектних варијабли. Развијени програмски код је у оквиру овог поглавља тестиран на референтним површима.

Примена процедуре у процесу пројектовања површинских конструктивних система, разматрана је у смислу прилога концептима проналажења форме (*form-finding*) и унапређења форме (*form-improving*). Позиција, релевантност и одрживост ове методе као медијума за истраживања кроз пројекат проверена је пројектним експериментима. Приказани примери и функционални тестови, који су претходили главним експериментима, имали су функцију успостављана ограничења домена пројектовања. Презентовани експериментални пројекти су прилог концепту тражења форме љуски, односно концепту унапређења форме мембрана.

Четврти део обухвата закључна разматрања којим су сумирани резултати и назначене смернице за могућа даља истраживања проблема имплементације научних метода и дигиталних технологија у процесу пројектовања површинских конструктивних система. Такође, дискутоване су импликације позиционирања структуралних перформанси као најдоминантнијег утицајног фактора у процесу пројектовања. Спроведени експериментални пројекти показали су да генеративни системи засновани на структуралним перформансама имају креативни капацитет, као и да се ограничења карактеристична за овај приступ могу искористити као потенцијал у процесу пројектовања. У случају пројектовања површинских конструктивних типологија које отпорност остварују обликом посебно се намеће потреба превазилажења приступа ограниченог искључиво на форму, подстакнутог могућностима актуелног дигиталног пројектног окружења, у корист процеса оријентисаног на перформансе, у коме се до пројектног решења долази кроз истраживања.

3. ОЦЕНА ДИСЕРТАЦИЈЕ

3.1. Савременост и оригиналност

Предмет истраживања су актуелне теме развоја и примене савремених дигиталних технологија и научних метода у контексту пројектовања конструктивних система. Предности оваквог приступа и доступност напредних технологије отварају могућност продукције неконвенционалних форми и реактуелизацију површинских конструктивних система. Дисертацијом је предложен и развијен оригинални метод за њихово пројектовање заснован на савременим концептима пројектовања орјентисаног на перформансе и примени генеративних рачунарских система и алата. Употреба биолошких парадигми и биоапропријација је актуелна у области пројектовања, а структурална морфогенеза представља младу област архитектонског инжењерства. Моделовање перформанси засновано је на актуелном изогеометријском концепту који је у правцу све више фаворизоване интеграције пројектовања и анализе. Радом се отвара и шира тема генеративне конвергенције у продукцији површинских конструктивних система.

3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу

У оквиру дисертације коришћена је обимна литература (библиографске јединице и *online* извори). Може се констатовати да је дисертација заснована на широком мултидисциплинарном оквиру референтне литературе, што је у складу са карактером истраживања. Литература се тематски може разврстати на следеће групе:

- генеративно пројектовање,
- оптимизација система,
- моделовање система.

Извори који се баве темом генеративног пројектовања обухватају публикације које обрађују кључне концепте, методе, технике и алате, њихов развој, примену и допринос значајних аутора овом дискурсу, са фокусом на типологији површинских конструктивних система.

Извори који се баве темом оптимизације обухватају публикације које обрађују принципе и приказују методе оптимизације конструктивних система. У фокусу су извори који се баве еволуционим техникама оптимизације.

Изворе који се баве темом моделовања могуће је поделити на групе извора који обрађују геометријско моделовање и моделовање механичких перформанси конструктивних система. Прва група претежно обухвата кључне публикације на тему NURBS параметраских кривих и површи, док је фокус у оквиру друге групе извора на публикацијама из домена изогеометријске анализе.

3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

За проверу хипотеза и спровођење истраживања, у функцији остваривања прецизности, континуитета, конзистентности и везе свих сегмената истраживања, коришћене су следеће методе и у оквиру њих адекватне технике и технологије:

- логичка аргументација,
- симулација и моделовање,
- студија случаја.

Логичка аргументација је употребљена за дефинисање методе за генерисање површинских конструктивних система. Претходно је реализовано коришћењем математичко-формалног логичког система. За предложени концептуални систем, дефинисан је алгоритам који је основа за развој програмског кода. Техника примењена за конципирање система је аналогија за коју су коришћени бионички конструкти морфогенеза и еволуционе стратегије. Техника примењена за развој система - рачунарског конструкта је математичка репрезентација.

Симулација и моделовање су методе којим је омогућена динамична интерактивна реплика реалних система. За апстраховану дескрипцију физичких законитости реалног проблема коришћени су рачунарски модели. Процеси биолошке оптимизације симулирани су применом генетског алгоритма, геометрија система моделована је параметарским NURBS површима, док су структуралне перформансе дијагностификоване употребом NURBS засноване изогеометријске анализе.

Студија случаја примењена је за проверу функционалности и одрживости формулисаног логичког система и његове програмске имплементације. Метода је спроведена изградом експерименталних пројеката, са намером да се демонстрирају предности генеративног приступа пројектовању површинских конструктивних система и изведе генерализација о могућностима његове шире примене.

3.4. Применљивост остварених резултата

Резултати истраживања имају три могућности непосредне примене:

- основа за даља истраживања,
- примена у процесу пројектовања,
- примена у едукацији.

Истраживањем је створен теоријски и практични оквир и основа за будућа истраживања о предметној или сродним темама. С обзиром на актуелност теме и закључке очекује се наставак истраживања, чије су смернице предложене дисертацијом. Искуства истраживања и могући правци даљих истраживања могу се применити у припреми нових научно-истраживачких пројеката.

Примена резултата у процесу пројектовања посебно је акцентована истраживањем. Истраживање је прилог примени генеративних метода и алата у архитектонској пракси, чија заступљеност још увек није довољна и адекватна. Иако је истраживање фокусирано на област архитектонског инжењерства и архитектонског пројектовања заснованог на новим парадигмама, искуства и предложени приступ могу наћи примену у различим областима инжењерског пројектовања.

Примена резултата могућа је у високошколској настави архитектуре и урбанизма. Одређена истраживања приказана дисертацијом већ су имплементирана у наставни процес на Архитектонском факултету као ужа тема у оквиру шире области Конструктивних система и просторних структура, а непосредно увођење резултата дисертације може допринети даљем унапређењу процеса едукације.

3.5. Оцена достигнутих способности кандидата за самостални научни рад

Својим досадашњим ангажовањем кандидат Јелена Милошевић, дипл. инж. арх. је показала да поседује способност за самосталан научно-истраживачки рад, минуциозност и савесност у прикупљању грађе, претраживању литературе и повезивању са претходно стеченим знањима из области истраживања, систематичност у обради релевантних података, информација и резултата, као и способност логичког и систематичног размишљања, закључивања и

аргументовања. Докторска дисертација показује да кандидат влада употребом различитих научних метода, као и вештином њихове интеграције у циљу обезбеђења богатства информација, повећања јачине аргумената, уверљивости и валидности добијених резултата. Вишегодишње учешће кандидата, као део мултидисциплинарног истраживачког тима, у научно-истраживачком пројекту (од 2011.) који представља шири контекст истраживања приказаних докторском дисертацијом, затим учешће на научним и стручним скуповима; већи број објављених радова у часописима и зборницима научних и стручних скупова, који представљају резултате досадашњих истраживања у предметној научној области, представљају доказ способности кандидата за успешно бављење самосталним научно-истраживачким радом.

4. ОСТВАРЕНИ НАУЧНИ ДОПРИНОС

4.1. Приказ остварених научних доприноса

Три главна аспекта доприноса дисертације која је предмет овог реферата су:

- предлог методе за пројектовање површинских конструктивних система,
- развој алата - програмска имплементација,
- прилог пројектовању површинских конструктивних система.

Радом је предложена изогеометријска морфогенеза (ИГМ), рачунарска метода која омогућава генерисање облика површинских конструктивних система оптималних структуралних перформанси у оквирима дефинисаног простора претраге и за дефинисане граничне услове. Развој методе подразумевао је дефинисање генеративног система - алгорита и модела генеративног система - геометријске, физичке и нумеричке апроксимације. С обзиром да су морфогенетски процеси у области конструктивних система у основи оптимизациони, тј. засновани на примени одређене методе претраге, у предложеној методи коришћен је еволуциони приступ за продукцију, евалуацију и проналажење оптималних решења и њихових варијанти. Критеријум селекције решења су структуралне перформансе чија се евалуација врши применом изогеометријске анализе. Симулације понашања површинских конструктивних система реализована је применом NURBS структура које су резултат додељивања физичких карактеристика геометријском субстрату, чиме су добијене структурално информисане деформабилне површи.

Програмска имплементација дефинисане методе представљала је следећи задатак истраживања. Полазећи од теоријског и концептуалног оквира развијен је оригинални алгоритаМСко-програмски код који је имплементиран у оквир САД система заснованог на NURBS геометријској репрезентацији, а који омогућава аутоматско генерисање форми оптималних у погледу структуралних перформанси. Програмски код представља алат за истраживања форми површинских конструктивних система, а функционалним тестовима на референтним површима потврђена је његова ефикасност и флексибилност.

Прилог пројектовању површинских конструктивних система подразумева проверу могућности непосредне примене изогеометријске морфогенезе као пројектантске методе. У ту сврху спроведени су експериментални пројекти са задатаком генерисања различитих структуралних типологија - љуски и мембрана, којим се потврђује могућност примене генеративног система и алата у процесима тражења форми (*form-finding*), односно унапређења форми (*form-improving*), што је њихова најчешћа улога. Потврђено је да осим што омогућава увођење структуралне рационалности у процес пројектовања, метода редифинише границе између равнотежних форми и објеката слободне форме, што имплицира богатство неконвенционалних облика.

4.2. Критичка анализа резултата истраживања

Изогеометријска морфогенеза предложена дисертацијом представља варијанту метода за генерисање форме заснованих на структуралној анализи, која користи предности изогеометријског концепта. Ова метода такође, користи и проширује предности моделовања заснованог на деформацији. Оригиналноста предложене методе огледа се у њеном унапређењу у светлу развоја нових концепата и технологија. Кључна разлика између изогеометријске морфогенезе и сличних метода је у нумеричком поступку који се користи за евалуацију варијантних формалних решења. Постојеће методе су засноване на класичној методи коначних елемената док се у случају ове методе користи изогеометријска анализа. За разлику од уобичајено коришћене класичне анализе методом коначних елемената, у којој се врши интерполација геометрије, изогеометријски концепт подразумева анализу на основу егзактно дефинисане почетне геометрије описане, у случају овог рада, NURBS технологијом. У овом нумеричком поступку геометрија и кинематика се описују истим функцијама, чиме је омогућено пројектовање, анализа и подешавање модела употребом јединственог типа података. Конзервација геометријске репрезентације је посебно битна за ову методу у којој се врше узастопне анализе и производи опсег варијантних решења површинског система. На овај начин је дефинисан алгоритам који омогућава једноставније и ефикасније пројектовање површинских конструктивних система. Имплементација процедуре демонстрира ефикасност предложеног приступа и потврђује да унапређење пројектантских метода и креативних алата омогућава иновацију и оптимизацију процеса пројектовања.

4.3. Верификација научних доприноса

Следећи радови кандидата, сврстани по категоријама М по Правилнику Министарства просвете, науке и технолошког развоја Републике Србије, резултат су истраживања у оквиру докторске дисертације:

Категорија М23:

1. Nestorović, B.; Grbac, I.; Nestorović, P., **Milošević, J.**: Application of reduced stiffness of complex laminate in finite elements for chair analysis, *-Drvna industrija (Wood industry)*, Šumarski fakultet Sveučilišta u Zagrebu, vol. 67, 2016. U štampi. (IF= 0.52) (DOI:10.5552/drind.2016.1445.) (UDK:630*8+674) (ISSN 0012-6772).

Категорија М33:

1. Nestorović, P.; **Milošević, J.** : "An Implementation of Isogeometric Analysis Concept in Free-form Architectural Roof Design," *-Applied Geometry and Graphics Issue No 88. The Interdepartmental Collection of Proceedings of SED-11*, Ukraine Association for Applied Geometry, Kyiv, Ukraine, 2011., pp. 229-233. (ISSN 0131-579X).
За излагање рада добијено је признање *SED-11 Award For The Report of The Youngest Participant*.
2. Nestorovic, M.; Nestorovic, P.; **Milosevic, J.**: "Instrumental Role of Geometry in Design Process of Folded Architectural Structures - Research and Education," *-Applied Geometry and Graphics Issue No 90. The Interdepartmental Collection of Proceedings of SED-12*, Ukraine Association for Applied Geometry, Kyiv, Ukraine, 2012., pp. 397-402.(ISSN 0131-579X).
3. **Milošević, J.**; Nestorović, M.: "Kompozitne prostorne strukture," *-Zbornik radova međunarodnog naučno-stručnog simpozijuma I&A 2012*, Arhitektonski fakultet u Beogradu, Beograd, Srbija, 2012., pp. 97-102. (ISBN 978-86-7924-086-6).

4. Nestorović, M.; **Milošević, J.**; Novaković, S.: "Bio-appropriation: River as Source of Inspiration for Dynamic Spatial Design on Site of Neolithic Metropolis Vinca," -*The City's Role in Contemporary Society. Proceedings of the International Scientific Conference Balkan Architectural Biennale 2013*, Belgrade, Serbia, 2013., pp. 225-236. (ISBN 978-86-916755-0-9).
5. **Milošević, J.**; Šobić, Z.; Nestorović, M.: "Compositeness: Implementation Issues in Performance Oriented Morphogenetic Design," -*Proceedings I of 6th International Scientific Conference Architecture, Civil Engineering - Modernity*, Free University - Chernorizets Hrabar, Faculty of Architecture, Varna, Bulgaria, 2013., pp.354-363. (ISSN 1314-3816).
6. Nestorović, M.; **Milošević, J.**; Šobić, Z.: "Form-Finding Using Bi-directional Evolutionary Structural Optimization (BESO) Method," - *Applied Geometry and Graphics Issue No 91. The Interdepartmental Collection of Proceedings of SED-13*, Ukraine Association for Applied Geometry. Kyiv, Ukraine, 2013., pp. 180-186. (ISSN 0131-579X). (UDK 514.18).
7. Nestorović, M.; Nestorović, P.; **Milošević, J.**: "Rapid Prototyping: Constructing Physical Models of Architectural Geometry," -*Applied Geometry and Graphics Issue No 91. The Interdepartmental Collection of Proceedings of SED-13* Kyiv: Ukraine Association for Applied Geometry. Kyiv, Ukraine, 2013., pp. 187-192. (ISSN 0131-579X) (UDK 514.18).
8. **Milošević, J.**; Šobić, Z.; Nestorović, M.: "Evolutionary Computation in Design of Architectural structures / Evolucionini proračun u oblikovanju arhitektonskih struktura," -*Zbornik radova međunarodnog naučno-istražnog simpozijuma I&A 2013* Beograd: Univerzitet u Beogradu Arhitektonski Fakultet. Beograd, Srbija, 2013., pp. 96-102. (ISBN 978-86-7924-111-5) (COBISS. SR-ID 203621644).
9. **Milošević, J.**; Nestorović, M.; Šobić, Z.: "Computational Morphogenesis: Performance-Oriented Architectural Design Concept," -*International Conference and Exhibition, Conference Proceedings. On Architecture. STRAND – Sustainable Urban Society Association*, Belgrade, Serbia, 2013., pp. 555-565. (ISBN 978-86-89111-04-0).
10. **Milošević, J.**; Šobić, Z.; Nestorović, M.: "Towards Generative Convergence in Design of Architectural Structures," - *Proceedings of the 1st International Academic Conference P&T*, University of Belgrade Faculty of Architecture, Belgrade, Serbia, 2014., pp. 744-751. (ISBN 978-86-7924-114-6).
11. **Milošević, J.**; Nestorović, M.: "Biointerface: Studies in Bionics and Space Structures Design," - *Proceedings of 4th International Scientific Conference on Geometry and Graphics moNGeometrija 2014. Volume 1*, Faculty of Civil Engineering and Architecture in Nis, Serbian Society for Geometry and Graphics SUGIG, Vlasina, Serbia, 2014., pp. 90-99. (ISBN 978-86-88601-13-9).
12. **Milošević, J.**; Nestorović, M.: "Form-Generating Approach in Design of Shape Resistant Structural Typologies," -*Proceedings of International Scientific Youth Conference. Strength, Creep and Destruction of Building and Mechanical Materials and Structures*, Peoples' Friendship University of Russia (RUDN), Moscow, Russia, 2014.,pp. 179-183. (ISBN 978-5-209-06240-0).
13. **Milosevic, J.**; Nestorovic, M.: "Isogeometric morphogenesis: integrative method for design of shape resistant structural typologies," -*Proceedings of the IASS Symposium 2015, Future Visions*, International Association for Shells and Spatial Structures, Amsterdam, Holand, 2015., U štampi.

Категорија M51:

1. **Milošević, J.**; Nestorović, M.;Šobić, Z.: Strukturalna morfogeneza: koncept generativne procedure za dizajn arhitektonske forme, -*Tehnika, časopis Saveza inženjera i tehničara Srbije*, vol. 67, no. 4, pp. 601-608, 2013. (UDC:72.012:004.925.8, ISSN 0040-2176) (UDC: 62(062.2)(497.1)).

5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу анализе и оцене докторске дисертације кандидата Јелене Милошевић, дипл. инж. арх. Комисија закључује да је дисертација у целини урађена према прописаним критеријумима обима и квалитета научног рада и у складу са одобреном темом и пријавом на коју је Универзитет у Београду дао своју сагласност. Дисертација остварује низ научно аргументованих и утемељених резултата као основ њеног доприноса научној области *Архитектура и урбанизам*, односно ужој научној области *Конструктивни системи*, за коју је матичан Архитектонски факултет у Београду. Кандидат Јелене Милошевић, дипл. инж. арх. је показала способност за самостални научно-истраживачки рад што потврђују истраживања приказана докторском дисертацијом, учешће у научно-истраживачком пројекту, учешћа у раду домаћих и међународних конференција и објављени научни радови у часописима и зборницима међународних конференција.

На основу претходног образложења и оцене докторске дисертације, Комисија предлаже Наставно-научном већу Архитектонског факултета Универзитета у Београду да се докторска дисертација под називом "ИЗОГЕОМЕТРИЈСКА АНАЛИЗА У МОРФОГЕНЕЗИ ПОВРШИНСКИХ КОНСТРУКТИВНИХ СИСТЕМА" кандидата Јелене Милошевић, дипл. инж. арх. прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду.

У Београду, октобар 2015.

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

.....
Проф. др Миодраг Несторовић,
Универзитет у Београду, Архитектонски факултет

.....
Академик Ђорђе Злоковић,
Редовни члан, Српска академија наука и уметности

.....
Проф. др Александар Чучаковић,
Универзитет у Београду, Грађевински факултет

.....
Проф. др Ташко Манески,
Универзитет у Београду, Машински факултет