

**УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ**  
**Архитектонски факултет**

Булевар краља Александра 73/II  
Београд

## **НАСТАВНО-НАУЧНОМ ВЕЋУ**

**Предмет:** Реферат о урађеној докторској дисертацији кандидата  
**Милоша Манеског**, дипл. грађ. инж.

Одлуком Наставно-научног већа Факултета бр. 01-972/2-4.4 од 21.05.2018. године, именовани смо за чланове Комисије за преглед, оцену и одбрану докторске дисертације кандидата **Милоша Манеског**, дипл. грађ. инж., под насловом:

### **РАЗВОЈ МАКРО КОНАЧНОГ ЕЛЕМЕНТА ПРИМЕНОМ ГРУПНО СУПЕРМАТРИЧНЕ ПРОЦЕДУРЕ ЗА НАБОРАНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ**

Након прегледа достављене Дисертације Комисија је сачинила следећи:

## **РЕФЕРАТ**

### **1. УВОД**

#### **1.1. Хронологија одобравања и израде дисертације**

Милош Манески је уписао докторске академске студије на Архитектонском факултету Универзитета у Београду школске 2009/2010. године - основна научна област истраживања *Архитектура и урбанизам*, ужа област истраживања *Конструктивни системи*.

На основу члана 98. Статута Архитектонског факултета у Београду („Сл. билтен факултета“, бр. 80/08, 84/10, 88/12 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 24. јуна 2013. године, Наставно-научно веће Факултета је на седници одржаној дана 12. јула 2013. године, донело Одлуку број 01-864/2-5.16. којом је образована Комисија за оцену испуњености услова кандидата Милоша Манеског, дипл. грађ. инж. и теме докторске дисертације, под насловом **„Развој макро коначног елемента применом групно суперматричне процедуре за наборане конструкције ”**, у саставу:

- др Миодраг Несторовић, председник Комисије редовни професор Архитектонског факултета у Београду,
- др Весна Милошевић-Митић, члан Комисије редовни професор Машинског факултета у Београду,
- др Растислав Мандић, члан Комисије редовни професор Грађевинског факултета у Београду,

На основу члана 30. Закона о високом образовању („Сл. Гласник РС”, бр 76/05, 100/07 – аутентично тумачење, 97/08, 44/10, 93/12 и 89/13), а у вези са чланом 100. Статута Архитектонског факултета у Београду („Сл. билтен АФ”, бр. 80/08, 84/10 и 89/12), члановима 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 од 10.12.2013. године, одлука број 61206-6023/2-13, Наставно научно веће Факултета је, на седници одржаној 23.12.2013. године, донело одлуку број 01-1970/2-8.12 да се **Милошу Манеском**, дипл. грађ. инж., одобрава рад на теми докторске дисертације, под насловом: **„Развој макро коначног елемента применом групно суперматричне процедуре за наборане конструкције”** и да се за ментора именује проф. др Миодраг Несторовић, редовни професор Архитектонског факултета Универзитета у Београду.

Именованом је на лични захтев, одобрен продужетак рока за завршетак студија одлуком број 01-954/2-10.55 Наставно научног већа Архитектонског факултета одржаног 13.07.2015. године за годину дана, односно до 30.09.2016. године. Именованом је одобрен статус мировања у школској 2015/2016. години на основу одлуке бр. 03-22/7.2 од 08.07.2016. године. На захтев ментора проф.др Миодрага Несторовића Наставно научно веће Архитектонског факултета од 26.06.2017. године доноси одлуку бр. 01-1090/2-3.17 којом се именованом продужава рок до 30.09.2018. године за одбрану докторске дисертације.

Завршену докторску дисертацију кандидат је предао Већу докторских студија у мају 2018. године.

На основу члана 101. и члана 102. Статута Архитектонског факултета у Београду (“Сл. билтен АФ”, бр. 116/17-пречишћен текст), члана 37. Правилника о докторским академским студијама („Сл. билтен АФ”, бр. 102/14) и Одлуке Већа докторских студија Факултета од 14.05.2018. године, Наставно-научно веће Факултета је, на седници одржаној дана 21.05.2018. године, донело одлуку број 01-972/2-4.4 да се образује комисија за оцену и одбрану докторске дисертације кандидата Милоша Манеског, дипл. грађ. инж., под насловом **„Развој макро коначног елемента применом групно суперматричне процедуре за наборане конструкције ”**, у саставу:

- др Миодраг Несторовић, ментор редовни професор Архитектонског факултета у Београду, у пензији
- др Весна Милошевић Митић, председник Комисије редовни професор Машинског факултета у Београду,
- др Растислав Мандић, члан Комисије редовни професор Грађевинског факултета у Београду.

## 1.2. Научна област дисертације

Докторска дисертација припада научном пољу Техничко-технолошких наука, научној области *Архитектура и урбанизам*, односно ужој научној области *Конструктивни системи*, за коју је Факултет матичан. Ментор предметне дисертације је др Миодраг Несторовић, редовни професор Архитектонског факултета Универзитета у Београду.

Ментор проф. др Миодраг Несторовић је у научно-истраживачком раду оријентисан на области конструктивних система, просторних структура, геометријског моделовања и нумеричке анализе применом МКЕ и ГСП. Списак радова који квалификују проф. др Миодрага Несторовића за ментора докторске дисертације наведен је у наставку:

- Гаћеша, В., Maneski, T., Milošević-Mitić, V., Nestorović, M., & Petrovic, A. (2014). Influence of Furnace Tube Shape on Thermal Strain on Fire-Tube Boilers. *Thermal Science*, 39-47.
- Nestorović, M., Milošević, J., Nestorović, P., & Maneski, M. (2016). Instrumentalization of Origami in Construction of Folded Plate Structures - Design, Research and Education. *Spatium*, 22-29.
- Zloković, G., Maneski, T., & Nestorović, M. (1994). Group Supermatrix Procedure in Computing of Engineering Structures. *Structural Engineering Review*, 39-50.
- Zloković, G., Maneski, T., & Nestorović, M. (1999). Group Theoretical Formulation of Nonsymmetrical Systems by the Group Supermatrix Procedure. *Computers and Structures*, 637-649.
- Zloković, G., Maneski, T., & Nestorović, M. (2004). Group theoretical formulation of quadrilateral and hexahedral isoparametric finite elements. *Computers and Structures*, 883-899.

## 1.3. Биографски подаци о кандидату

Милош Манески, дипломирани грађевински инжењер за конструкције рођен је 18. марта 1983. г. у Београду. Након завршене XIII београдске гимназије, уписао је 2002. г. Грађевински факултет Универзитета у Београду на коме је дипломирао 2009. г. са просечном оценом 8,02 и оценом 10 на дипломском раду. Током студирања, као један од студената који се истицао успехом, остварио је право на стручну праксу у иностранству. Стручну праксу у трајању од 14 месеци провео је усавршавајући се у Бечу, Аустрија у једном од највећих светских грађевинских концерна, фирми Strabag. d.o.o. За време трајања стручне праксе искористио је права мировања обавеза на факултету.

Докторске студије на архитектонском факултету уписује школске 2009/10. г. Као усмерење докторских студија кандидат је одабрао студије научног карактера, област истраживања архитектура, ужа научна област конструктивни системи. У периоду од 2009-2012. године положио је све испите предвиђене наставним планом са просечном оценом 9,83 и оценом 10 на тематском истраживању. 2013. године добија сагласност Већа научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду на предлог докторске дисертације под насловом „Развој макро коначног елемента применом групно суперматричне процедуре за наборане конструкције“ (61206-6023/2-13од 10.12.2013.). За ментора је именован проф. др Миодраг Несторовић.

Стручни испит је положио 2014. године (Уверење бр. бр. 11479-3/9927 од 15.11.2014.), поседује лиценцу одговорног извођача радова грађевинских конструкција и

грађевинско - занатских радова на објектима високоградње, нискоградње и хидроградње (бр. 410 J121 15 од 12.03.2015).

Течно говори енглески и немачки језик, а служи се руским и бугарским језиком.

Досадашњи професионални рад кандидата карактерише разноврсно искуство у различитим сегментима струке. Након дипломирања наставио је сарадњу са фирмом Strabag. d.o.o. где је и данас запослен. Рад у фирми Strabag. d.o.o. допринео је стручном усавршавању у области управљањем пројектима, организацији и технологије изградње. Такође, учествовао је као сарадник на пројекту у изради неколико генералних пројекта, односно статичког прорачуна конструкција.

Поред рада у пракси кандидат је учествовао као студент докторских студија у настави на Архитектонском факултету од 2009. до 2015 године. Истовремени практични рад у области изградње инфраструктуре, пројектовању и прорачуну конструкција уз научно ангажовање и волонтерски рад у настави на Архитектонском факултету Универзитета у Београду, омогућили су му јединствен спој науке и праксе и додатно су допринели комплетном професионалном развоју кандидата.

## 2. ОПИС ДИСЕРТАЦИЈЕ

### 2.1. Садржај дисертације

Докторска дисертација Милоша Манеског под насловом „**Развој макро коначног елемента применом групно суперматричне процедуре за наборане конструкције**” има укупно 246 страна. Првих 9 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* дат је на 175 страна. Основни текст укључује 198 илустрација и 6 табела. Након текста рада следе *Преглед коришћених акронима, Преглед коришћених ознака, Преглед илустрација, Преглед извора илустрација, Преглед табела*. Преглед коришћених *Референци* дат је на 4 стране и садржи 55 библиографских јединица. Прегледом референци обухваћени су само радови чији су делови у докторском раду експлицитно наведени, као и они на које се аутор позива. Затим следе *Прилози, Биографија аутора, Генеративни алгоритам, Изјава о ауторству, Изјава о истовестности штампане и електронске верзије и Изјава о коришћењу*.

Преглед садржаја дисертације:

ПОДАЦИ О ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ (на српском језику).....5

ПОДАЦИ О ДОКТОРСКОЈ ДИСЕРТАЦИЈИ (на енглеском језику).....6

1. УВОД ..... 10

1.1 Образложење теме - проблематика и предмет истраживања..... 10

1.1.1 Неусаглашеност процеса архитектонско-инжењерског пројектовања, прорачуна и реализације ..... 10

1.1.2 Проблем компјутерског генерисања и структуралне анализе ..... 11

1.1.3	Имплементација групно суперматричне процедуре и методе коначних елемената у процес прорачуна набораних конструкција .....	11
1.1.4	Проблематика пројектовања набораних конструкција .....	12
1.2	Циљ истраживања .....	12
1.3	Задаци истраживања .....	13
1.4	Радне (полазне) хипотезе .....	15
1.5	Научне методе истраживања .....	16
1.5.1	Логичка аргументација .....	16
1.5.2	Симулација и моделовање .....	17
1.5.3	Студија случаја .....	18
2.	НАБОРАНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ .....	19
2.1	Дефиниција набора .....	19
2.2	Кратак историјат .....	20
2.3	Принципи обликовања и конструисања набора .....	25
2.3.1	Дефинисање појмова .....	25
2.3.1	Аксиоми и правила набирања .....	30
2.4	Оригами као средство за пројектовање набора .....	36
2.4.1	Увод .....	36
2.4.2	Оригами као методологија при архитектонском пројектовању .....	37
2.4.3	Материјал и технике конструисања .....	38
2.4.4	Процес конструисања у оквиру предмета Конструктивни системи .....	39
2.4.5	Генерисање шаблона набора и креирање прототипа .....	46
2.3.6	Завршна разматрања .....	49
2.5	Подела набораних конструкција .....	50
2.5.1	Подела набора према облику колена набора .....	50
2.5.2	Подела набора према форми набора .....	51
2.5.3	Подела набора према тесалацији .....	53
2.5.4	Подела набора према конструктивном понашању .....	54
2.6	Конструктивно понашање набора .....	59
2.7	Примери објеката изведених у пракси .....	64
2.7.1	State Farm Center .....	64
2.7.2	Gunma Music Center .....	65
2.7.3	Miami Marine Stadium .....	66
2.7.4	Yokohama International Port Terminal .....	67
2.7.5	American Concrete Institute Building .....	68
2.7.6	Електрана у Бирсфелдену .....	69
2.7.7	Спортски центар Mülimatt .....	70
2.7.8	Human resource center .....	71
3.	ГЕНЕРИСАЊЕ ГЕОМЕТРИЈЕ ПРИМИТИВА И КОНСТРУКЦИЈЕ .....	72
3.1	Опште о генерисању геометрије - предпроцесирање .....	72
3.2	Генерисање геометрије структуре .....	73

3.3 Избор примитива набора.....	75
3.4 Улазни параметри за генерисање примитива.....	78
3.5 Примитиви.....	79
3.5.1 Примитив типа P - 1.....	79
3.5.2 Примитив типа P - 2.....	80
3.5.3 Примитив типа P - 3.....	81
3.5.4 Примитив типа P - 4.....	82
3.5.5 Примитив типа P - 5.....	83
3.5.6 Примитив типа P - 6.....	84
3.5.7 Примитив типа P - 7.....	85
3.5.8 Примитив типа P - 8.....	86
3.5.9 Примитив типа P - 9.....	87
3.5.10 Примитив типа P - 10.....	88
3.5.11 Примитив типа P - 11.....	89
3.5.12 Примитив типа P - 12.....	90
3.5.13 Примитив типа P - 13.....	91
3.5.14 Примитив типа P - 14.....	92
3.5.15 Примитив типа P - 15.....	93
3.5.16 Ротација форме набора и ротационо умножавање примитива по контури круга.....	94
3.6 Набори добијени комбинацијом више примитива - сложени набори.....	102
3.6.1 Сложени примитив P 1 + P 2 + P 7.....	102
3.6.2 Сложени примитив P 1 + P 3 + P 4 + P 10.....	103
3.6.3 Сложени примитив P 5 + P 7 + P 13 + P 13.....	105
4. ОСНОВИ ТЕОРИЈЕ ЕЛАСТИЧНОСТИ И МЕТОД КОНАЧНИХ ЕЛЕМЕНАТА – МКЕ....	107
4.1 Уводна разматрања.....	107
4.2 Основи линеарне теорије еластичности.....	108
4.2.1 Успостављање веза деформација-померање.....	110
4.2.2 Услови компатибилности.....	111
4.2.3 Једначине спољашње равнотеже.....	112
4.2.4 Једначине унутрашње равнотеже.....	112
4.2.5 Успостављање релација између напона и деформација.....	113
4.2.6 Основи теорије танких плоча.....	115
4.3 Уводна разматрања - метод коначних елемената МКЕ.....	119
4.3.1 Дводимензионални коначни елемент – тругаони коначни елемент плоче.....	122
4.3.2 Тругаони коначни елемент танке плоче напрегнут на савијање.....	126
5. ГРУПНО СУПЕРМАТРИЧНА ПРОЦЕДУРА (ГСП).....	131
5.1 Уводна разматрања.....	131
5.2 Групне суперматрице и матрица крутости линијског елемента ( $C_2$ ).....	135
5.3 Групне суперматрице и матрица крутости правоугаоног елемента ( $C_{2v}$ ).....	137
5.4 Групне суперматрице и матрица крутости просторног елемента ( $D_{2h}$ ).....	140
6. РЕДУКОВАНИ ПОВРШИНСКИ МАКРО КОНАЧНИ ЕЛЕМЕНТИ ПРИМИТИВА.....	143
6.1 Поставка проблема.....	143

6.2 Равна танка плоча .....	143
6.3 Одређивање еквиваленте матрице крутости за примитив $P - 3$ .....	145
6.4 Одређивање еквиваленте матрице крутости за примитив $P - 4$ .....	151
6.5 Одређивање еквиваленте матрице крутости за примитив $P - 5$ .....	154
6.6 Одређивање еквиваленте матрице крутости за примитив $P - 6$ .....	157
6.7 Одређивање еквиваленте матрице крутости за примитив $P - 7$ .....	159
6.8 Одређивање еквиваленте матрице крутости за примитив $P - 8$ .....	162
6.9 Одређивање еквиваленте матрице крутости за примитив $P - 9$ .....	164
6.10 Одређивање еквиваленте матрице крутости за примитив $P - 10$ .....	166
6.11 Одређивање еквиваленте матрице крутости за примитив $P - 11$ .....	168
6.12 Одређивање еквиваленте матрице крутости за примитив $P - 13$ .....	170
6.13 Одређивање еквиваленте матрице крутости за примитив $P - 14$ .....	172
7. КОНЦЕПТУАЛНИ ПРИКАЗ ФАЗА ИСТРАЖИВАЊА .....	174
8. ЗАКЉУЧНА РАЗМАТРАЊА .....	176
8.1 Анализа резултата .....	176
8.2 Смернице за даља истраживања .....	183
ПРЕГЛЕД ИЛУСТРАЦИЈА .....	190
ПРЕГЛЕД ТАБЕЛА .....	201
ЛИТЕРАТУРА .....	202
БИОГРАФИЈА АУТОРА .....	206
ПРИЛОЗИ .....	208
Прилог 1 .....	209
Генеративни алгоритам .....	209
<b>Прилог 2</b> .....	244
Изјава о ауторству .....	244
<b>Прилог 3</b> .....	245
Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада .....	245
<b>Прилог 4</b> .....	246
Изјава о коришћењу .....	246

## 2.2. Кратак приказ појединачних поглавља

Резултати истраживања структурно су организовани у осам поглавља, која су формулисана као: 1. *Увод*, 2. *Наборане конструкције*, 3. *Генерисање геометрије примитива и конструкције*, 4. *Основи теорије еластичности и метод коначних*

елемената – МКЕ 5. *Групно суперматрична процедура - ГСП*, 6. *Редуковани површински макро коначни елемент*, 7. *Концептуални приказ фаза истраживања* и 8. *Закључна разматрања*.

Прво поглавље - *Увод*, садржи објашњење предмета и проблема истраживања, као и његових циљева и задатака. У њему су дефинисане хипотезе и презентоване примењене научне методе.

Друго поглавље - *Наборане конструкције*, садржи дефиницију набораних конструкција и појмова везаних за саставне елементе набора. У овом поглављу је дат и кратак историјски преглед развоја и изведених конструкција набора. Кроз принципе обликовања и конструисања представљен је њихов потенцијал примене. Преко оригами технике, видели смо да се она може и треба користити као средство при пројектовању набора, што је резултовано и израдом једног прототипа. Потом следе, различите класификације набора, конструктивно понашање набора и примери изведених објеката.

У трећем поглављу - *Генерисање геометрије примитива и конструкције* разматра се примена анализираних принципа проблема оптимизације структуралних перформанси конструктивних система и различитих стратегија, поступака и алгоритама који се примењују у ту сврху. Концепт генеративног алгорита, начин његовог оперисања, његови саставни елементи и параметарски оператори обухваћени су детаљним приказом и илустровани су кроз примере. Примере чине 15 пројектованих примитива и њихове комбинације добијене операцијама ротације и транслације примитива. Примена појединих метода и алата на конкретним задацима у функцији су припреме за приказане прорачуне у наставку рада.

Четврто поглавље - *Основи теорије еластичности и метод коначних елемената – МКЕ*, описује опште познате научне чињенице на којима се заснивају сви прорачуни коришћени у раду. Дефинисане су претпоставке које важе у прорачуну набораних конструкција и дат је преглед основних једначина у готовом облику за линијске, површинске и запреминске елементе. У делу метод коначних елемената приказани су у коначном облику изрази матрица еластичности и крутости за троугаони елемент плоче и танке плоче.

Пето поглавље - *Групно суперматрична процедура – ГСП*, садржи преглед основних појмова, приказ карактера, скупова и продуката различитих група за линијски, правоугаони површински и правоугаони хексаедарски запремински елемент. Затим, дат је поступак примене особина симетрије преко матрица трансформације. Као резултат добија се групна суперматрица крутости која се потом интегрише у метод коначних елемената. Резултат примене овог поступка огледа се у вишеструком смањењу неопходних рачунских операција при прорачуну конструкција.

У шестом поглављу - *Редуковани површински макро коначни елемент*, описује поставку проблема и садржи предлог његовог решења. Дефинисање концепта, формулација, програмска имплементација и евалуација ове процедуре у смислу могућности њене примене у процесу пројектовања површинских конструктивних система, чине централно место рада. Представљен је комплетан поступак превођења комплексне форме примитива у једноставни елемент равне танке плоче која чини редуковани макро коначни елемент. Прорачун је извршен по принципима МКЕ и као провера валидности поступка коришћена је динамичка анализа, односно компарација вредности сопствених фреквенција за први тон осциловања. У овом поглављу представљени су резултати за већину примитива.



У седмом поглављу - *Концептуални приказ фаза истраживања*, дат је приказ алгоритма фаза рада, од првог корака, пројектовања набора, преко развоја процедуре, све до формирања макро коначног елемента.

Осмо поглавље – *Закључна разматрања*, обухвата закључке 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. 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 научног истраживања приказаног у раду представља актуелне теме развоја и примене дигиталних технологија. Мултидисциплинаран приступ и интеграција научних метода стављени су у контекст пројектовања набораних конструкција. Предности оваквог приступа и доступност напредне технологије, отварају могућност пројектовања неконвенционалних форми и реактуелизацију површинских конструктивних система. Дисертацијом је предложен и развијен оригинални метод за њихово пројектовање заснован на савременим концептима пројектовања оријентисаног на перформансе и примени генеративних рачунарских система и алата. Превођењем комплексне структуре примитива у равну танку плочу поступак добија на једноставности и приступачности, чиме доприноси лакшој интерпретацији и анализи конструкције. Моделовање конструкције засновано је на актуелном параметарско - геометријском концепту који је у правцу све више фаворизоване интеграције пројектовања и анализе. Радам се отвара и шира тема генеративне конвергенције при пројектовању свих површинских конструктивних система, не само набора.

#### **3.2. Осврт на референтну и коришћену литературу**

У оквиру рада коришћена је литература у виду библиографских јединица и извора доступних на интернету. Може се констатовати да је дисертација заснована на широком мултидисциплинарном оквиру референтне литературе, што је у складу са карактером истраживања.

Преглед библиографских јединица указује на то да је кандидат упознат са савременим теоријским оквирима и резултатима у вези са оквиром рада. Затим са кључним примерима који се тичу проблематике коју истражује, као и да на одговарајући начин користи и тумачи изворе приликом аргументације својих ставова.

Преглед извора и литературе коришћених у истраживањима су:

- Albers, J. (1952). Concerning Fundamental Design, in Bayer. Y G. W. H. (Yp.), *Bauhaus 1919-1928* (crp. 114-121). Boston.
- Banghay, S. (2000). From Virtual to Physical Reality with Paper Folding. *Computational Geometry Theory and Applications*, 161-174.
- Bechthold, M. (2008). *Innovative Surface Structures: Technologies and Applications*. Taylor & Francis.
- Buri, H., & Weinamd, Y. (2008). Origami - Folded Plate Structures,. Ppeyzero ca [http://www.ewpa.com/archive/2008/june/paper\\_286.pdf](http://www.ewpa.com/archive/2008/june/paper_286.pdf)
- Dimitrov, D., Schreve, K., & de Beer, N. (2006). Advances in Three Dimensional Printing - State of the Art and Future Perspectives. *Rapid Prototyping Journal*, 12(3), 136-147.
- Ebara, M., & Kawaguchi, K. (2003). Deployable Solid: A New Folding Structure. *Forma*(18), 187-195. Ppeyzero Feb 23, 2014 ca <http://www.scipress.org/journals/forma/pdf/1803/18030187.pdf>
- Engel, H. (1967). *Structure Systems*. Stuttgart: Deutche verlan anstalt GmbH.
- Gaćeša, B., Maneski, T., Milošević-Mitić, V., Nestorović, M., & Petrovic, A. (2014). Influence of Furnace Tube Shape on Thermal Strain on Fire-Tube Boilers. *Thermal Science*, 39-47.
- Gomez, R. (.). *Design of Folded Plates*. Ppeyzero ca PDHonline Course S275: [www.pdhonline.org](http://www.pdhonline.org)
- Hachem, C., Karni, E., & Hanor, A. (2004). Deployable Structures in Nature: Examples, Analysis and Realizations. *Journal of IASS*, 45(3), 190-198.
- Hagiwara, I. (2008). From Origami to Origamics, The Japan. *The Japan*, 5(3), 22-25.
- Hull, T. (2002). The Combinatorics of Flat Folds: A Survey. Y T. Hull (Yp.), *Origami3: Third International Meeting of Origami Science, Mathematics, and Education* (crp. 29-38). Natick, MA: AK Peters.
- Jackson, P. (2011). *Folding Techniques for Designers: From Sheet to Form*. UK: Laurence King Publishers.
- Khademzadeh, H. R., & Mazaheri, H. (2007). Some Results to the Huzita's Theorems. *International Mathematical Forum* 2(14), 699-704. Ppeyzero Jan 8, 2014 ca <http://www.m-hikari.com/imf-password2007/13-16-2007/mazaheriIMF13-16-2007-1.pdf>
- Khoshnevis, B. (.). Automated Construction by Contour Crafting - Related Robotics and Information Technology. *Journal of Automation in Construction*, 13(1), 5-19.
- Lang, R. J. (1994). Mathematical Algorithms for origami Design. *Symmetry: Culture and Science*, 5(2), 115-152.
- Lang, R. J. (2004). *Robert J. Lang Origami*. Ppeyzero Dec 07, 2011 ca <http://www.langorigami.com>
- Lister, D. (2003, 2004). Die Geschichte des Papierfaltens – Eine Deutsche Perspektive 1 und 2. *Der Falte*(35&37). Ppeyzero Feb 23, 2014 ca <https://www.papierfalten.de/>
- Maekawa, J. (2008). *Genuine Origami: 43 Mathematically-Based Models, From Simple to Complex* (1st Edition изд.). Tokyo: Japan Publications Trading.
- Maneski, T. (1998). *Kompjutersko modeliranje i proračun struktura*. Beograd: Mašinski fakultet univerziteta u Beogradu.
- Mathiak, K., & Stingl, P. (1967). *Gruppentheorie*. Braunschweig: Friedr. viewg & Sohn Braunschweig.
- Milošević, J. (2015). *Izogeometrijska analiza u morfogenezi površinskih konstruktivnih sistema*. Beograd: Arhitektonski fakultet univerziteta u Beogradu.
- Mitra, A. (2009). *The Grammar of Developable Double Corrugation (for Formal Architectural Applications)*. University College London.

- Miura, K. (1997). Folds - Its Physical and Mathematical Principles. У К. Miura (Ур.), *Origami Science and Art: Proceedings of the Second International Meeting of Origami Science and Scientific Origami*, (стр. 41-50). Otsu, Japan.
- Miura, K. (.). Folds - the Basis of Origami. *Symmetry: Culture and Science*, 5(1), 13-22.
- Moussavi, F., Lopez, D., G, A., B, F., R, L., & A, S. (2009). *The function of form*. Actar and Harvard University Graduate School of Design.
- Muljadinata, A., & Darmawan, S. (2016). Redifining folded plate structure as a form-resistant structure. *ARNP Journal of Engeeniring and Applied Sciences*, 4782-4792.
- Nestorović, M. (2000). *Konstruktivni sistemi: principi konstruisanja i oblikovanja*. Beograd: Arhitektonski fakultet univerziteta u Beogradu.
- Nestorović, M., Milošević, J., Nestorović, P., & Maneski, M. (2016). Instrumentalization of Origami in Construction of Folded Plate Structures - Design, Research and Education. *Spatium*, 22-29.
- Nestorović, M., Nestorović, P., & Milošević, J. (2012). Instrumental Role of Geometry in Design Process of Folded Architectural Structures - Research and Education. *Applied Geometry and Graphics - The Interdepartmental Collection of Proceedings*, 90, стр. 397-402.
- Piegl, L., & Tiller, W. (1997). *The NURBS Book* (2nd Edition изд.). Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag.
- Pottman, H., Asperl, A., Hofer, M., & Kilian, A. (2007). *Architectural Geometry* (1st Edition изд.). Exton, PA: Bentley Institute Press.
- Rogačev, O. (2006). *Prilog utvrđivanju veza, principa i analogija prostornih struktura u arhitekturi i prirodi*. Beograd: Arhitektonski fakultet univerziteta u Beogradu.
- Schueler, W. (1983). *Horizontal-Span Building*. New York: John Welley & Sons.
- Šekularac, N., Ivanović Šekularac, J., & Čikić Tovarović, J. (2012). FOLDED STRUCTURES IN MODERN ARCHITECTURE. *Architecture and Civil Engineering Vol. 10, No 1*, 1-16.
- Sekulović, M. (1988). *Metoda konačnih elemenata*. Beograd: Građevinska knjiga.
- Sekulović, M. (1991). *Matrična analiza konstrukcija*. Beograd: Građevinska knjiga.
- Sorguç, A. G., Hagiwara, I., & Selçuk, S. A. (2009). Origami in Architecture: A Medium of Inquiry for Design in Architecture. *METU JFA*, 26(2). Преузето Dec 5, 2011 ca [http://www.metu.edu.tr/archive/0258-5316/2009/cilt26/sayi\\_2/235-247.pdf](http://www.metu.edu.tr/archive/0258-5316/2009/cilt26/sayi_2/235-247.pdf)
- Stellman, A., & Greene, J. (2005). *Applied Software Project Management*. O'Reilly Media, Inc.
- Steward, I. (2007). Mathematics: Some Assembly Needed. *Nature*, 448(419). Преузето Dec 5, 2011 ca <http://www.nature.com/nature/journal/v448/n7152/pdf/448419a.pdf>
- Stošić, N. (1999). *Generisanje i modelovanje koordiniranih sistema konstrukcija*. Beograd: Arhitektonski fakultet univerziteta u Beogradu.
- Vincent, J. (2000). Deployable Structures Found in Nature: Potential for Biomimicking. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 214, стр. 1-10.
- Wheen, R. J. (1980, Apr 17). *Australia Patent Application Бр. патента PE 3167*.
- Z-Corporation. (.). *Spectrum ZTM510 - 3D Printing System*. Преузето Dec 5, 2011 ca <http://www.zcorp.com>
- Zienkiewicz. (1977). *The Finite Element Method*. Maidenhead: McGraw-Hill Book Company.
- Zloković, Đ. (1969). *Koordinirani sistem konstrukcija*. Beograd: Građevinska knjiga.
- Zloković, Đ. (1969). *Prostorne strukture*. Beograd: Građevinska knjiga.
- Zloković, Đ. (1973). *Teorija gurpa i G-vektorski prostori u oscilacijama, stabilnosti i statički konstrukcija*. Beograd: Centar za nalizu i projektovanje prostornih sistema ispu.

- Zloković, Đ., Maneski, T., & Nestorović, M. (1993). Analiza grupno supermatриčnim postupkom implementiran u CAD i GSP primenom grupnih supermatrica u metodi konačnih elemenata. *XX JUMEH*. Kragujevac.
- Zloković, Đ., Maneski, T., & Nestorović, M. (1995). Grupno teorijska analiza ostvarena simetrizovanjem. *XXI JUMEH*. Niš.
- Zloković, G. (1989). *Group theory and G-vector spaces in structural analysis*. Chichester: Elis Horwood limited.
- Zloković, G. (1992). *Group supermatrices in finite element analysis*. 1992: Ellis Horwood limited.
- Zloković, G., Maneski, T., & Nestorović, M. (1994). Group Supermatrix Procedure in Computing of Engineering Structures. *Structural Engineering Review*, 39-50.
- Zloković, G., Maneski, T., & Nestorović, M. (1998). Analysis of Nonsymmetrical Structures by the Group Supermatrix Procedure Developed on Symmetry Groups. *Strengt Theory: Application, Development & Prospects for 21st Century*, 1149-1153.
- Zloković, G., Maneski, T., & Nestorović, M. (1999). Group Theoretical Formulation of Nonsymmetrical Systems by the Group Supermatrix Procedure. *Computers and Structures*, 637-649.
- Zloković, G., Maneski, T., & Nestorović, M. (2004). Group theoretical formulation of quadrilateral and hexahedral isoparametric finite elements. *Computers and Structures*, 883-899.

### 3.3. Опис и адекватност примењених научних метода

У суштини целокупно истраживање је теоријског карактера, али је крајњи циљ практична примена. 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 одговарајуће технике и технологије:

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

Логичка аргументација је стављена у функцију дефинисања методе за генерисање форме набора. Коришћењем математичко – формалног логичког система реализујемо предметну методу. За предложени параметарски генеративни систем, израђен је алгоритам који је основа за развој генератора. Техника примењена за конципирање система је аналогија за коју су коришћени оригами конструкти. Техника примењена за развој система - рачунарског кода је математичка репрезентација.

Симулација и моделовање су методе којим се омогућава анализа понашања и пресликавања особина на реалан систем. За дескрипцију физичких законитости реалног проблема коришћени су рачунарски модели. За рад је значајна веза између метода симулације и логичке аргументације, обзиром да се симулација користи за тестирање логичком аргументацијом предложене концепције. Коришћење компјутерских система за моделовање, доприноси њиховом преплитању.

Студија случаја примењена је за проверу функционалности и одрживости формулисаног логичког система и његове програмске имплементације. Метода је спроведена пројектовањем различитих примитива, са намером да се демонстрирају предности предметног приступа пројектовању набора и изведе генерализација о могућностима његове шире примене.

### **3.4. Применљивост остварених резултата**

Истраживањем је добијен теоријски и практични домен и базис за будућа истраживања било о предметним 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.

Посебан акценат истраживања је стављен на примену резултата у процесу пројектовања. Истраживање је прилог примени генеративних метода, прорачуна и алата у архитектонској пракси, чија заступљеност још увек није довољна и адекватна. Иако је истраживање фокусирано на област архитектонског инжењерства и пројектовања, стечена искуства и предложени приступ могу наћи примену у различитим областима инжењерског пројектовања, а посебно у грађевинској области.

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**

Резултати и процес истраживања приказаних у докторској дисертацији ангажовањем кандидата показали су да Милош Манески дипл. грађ. инж. поседује способност за самосталан научно-истраживачки рад. То се огледа у употреби релевантне литературе и повезивању знања из различитих инжењерских наука. Кандидат је показао подрбност и савесност у прикупљању материјала, претраживању литературе и повезивању са претходно стеченим знањима, затим систематичност у обради релевантних података, информација и резултата, као и способност логичког и систематичног размишљања, закључивања и аргумендовања. Докторска дисертација показује да кандидат влада употребом различитих научних метода, као и вештином њихове интеграције у циљу обезбеђења битних информација, повећања јачине аргумената, уверљивости и валидности добијених резултата. Значајан показатељ способности кандидата за самосталан научни рад произилази из радова из шире области дисертације, публикованих у међународним и националним часописима, као и зборницима радова са научних скупова.

## **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 геометрије набора,
- развој генеративног алгорита - програмска имплементација,
- допринос пројектовању набора - површински конструктивни систем.

Радам је предложена употреба оригами технике као средства за дефинисање геометрије набора. Комплексна геометрија набора може се на једноставан начин интерпретирати оригами техником у циљу лакшег разумевања и проналажења правилности при генерисању форме. У предложеној методи коришћен је еволуциони

приступ за продукцију, евалуацију и проналажење оптималних решења и њихових варијанти.

Следећи задатак истраживања је представљала програмска имплементација дефинисане методе. Полазећи од теоријског и концептуалног оквира створен је оригинални алгоритамски код за генерисање набора уз помоћ дефинисаних параметра. Развој методе подразумевао је дефинисање генеративног система - алгоритма и модела генеративног система - геометријске, физичке и нумеричке апроксимације. Добијен је генератор који уз мали број улазних параметара за кратко време генерише комплексне форме набора. При томе утемељени су основни принципи генерисања који се могу користити при даљем развоју генератора за описивање различитих комплексних форми. Тиме се омогућава пресликавање набора на архитектонске форме. Програмски код представља алат за истраживања форми конструктивних система (набора), а функционалним тестовима на референтним површима потврђена је његова ефикасност и флексибилност.

Прилог пројектовању површинских конструктивних система подразумева проверу могућности непосредне примене у пројектовању и прорачуну конструкција. У раду је прилог усресређен на оквир набораних конструкција, али се коришћени принципи ефикасно могу применити и на остале површинске системе конструкција. У ту сврху спроведени су експериментални модели са задатком верификације примењеног поступка. Добијени резултати потврдили су могућност примене коришћених алата у процесима тражења и унапређења, као и у анализи форми и конструкција. Процедура рада радом омогућила је увођење структуралне рационалности у процес пројектовања. Она редефинише границе између пројектованих и генерисаних форми, што имплицира богатство неконвенционалних облика.

#### **4.2. Критичка анализа резултата истраживања**

Дисертација је пажљиво формулисана, научно заснована и представља заокружену истраживачку целину. Метода представљена радом поједностављује сложен процес пројектовања и прорачуна набораних конструкција. Оригиналност предложене методе огледа се у њеном унапређењу у светлу развоја нових концепата и технологија. Кључна разлика у односу на конвенционалне методе се огледа у параметарском описивању геометрије набора и развоју макро коначног елемента плоче, којим се комплексна просторна структура претвара у систем равних танких плоча, чиме се поступак прорачуна знатно поједностављује, а при том не утиче значајно на тачност резултата. 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:

- M23 Манески Ташко, Јованчић Предраг, Игњатовић Драган, Милошевић-Митић Весна, **Манески Милош**, *Condition and behaviour diagnostics of drive groups on belt conveyors (Article)*, ENGINEERING FAILURE ANALYSIS, (2012), vol. 22 br. , str. 28-37

- M23 Горан Воротовић, Саша Митић, Бранислав Ракичевић, Дражан Козак, **Манески Милош**, Марко Катинић, *Failure analysis of bolted joint for the column of an aerial platform*, Technical Gazette, DOI 10.17559/TV-20150513090840 (2015)
- M24 Nestorović, M.; Milošević, J.; Nestorović, P.; **Maneski, M.** (2016). *Instrumentalization of Origami in Construction of Folded Plate Structures - Design, Research and Education*. Spatium, Institute of Architecture and Urban & Spatial Planning of Serbia, IAUS, No. 35, pp. 22-29. (UDC 72.012.363) (DOI: 10.2298/SPAT1635022N) (ISSN 1450-569X) (ISSN 2217-8066 (Online))
- M33 Марина Димитријевић, **Милош Манески**, *Компаративна анализа бочноторзионог извијања I профила према EUROCOD-у и JUS-у*, GNP-2010 Жабљак, Црна Гора-фебруар 2010
- M33 **Манески Милош**, Ћосић Марина, Варга Владимир, Станковић Јелена, *Утицај геометрије решеткастих носача на промену вредности сопствене фреквенције*, GNP-2014 Жабљак, Црна Гора-фебруар 2014
- M33 Ћосић Марина, Варга Владимир, Станковић Јелена, **Манески Милош**, *Analysis of Behavior of a Lattice Girder According to Theory of Plasticity with Link Elements* (2015) Applied Mechanics and Materials, Vols. 725-726, pp. 559-565.
- M64 **Манески Милош**, (2013). *Пројекат истраживања: Развој макрокonaчног елемента применом групно суперматричне процедуре за наборане конструкције. У корак са временом - 50 година предмета Конструктивни системи и Просторне структуре 1963-2013. - каталог серије догађаја одржаних у Музеју примењене уметности у Београду, 10-14. децембар 2013., у редакцији Ђ. Злоковића и М. Несторовића. Универзитет у Београду Архитектонски факултет. pp. 35-36. ISBN 978-86-7924-115-3.*

## 5. ЗАКЉУЧАК И ПРЕДЛОГ

На основу анализе и оцене докторске дисертације кандидата **Милоша Манеског**, дипл. грађ. инж., 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 Милош Манески, дипл. грађ. инж. је показао способност за самостални научно - истраживачки рад што потврђују истраживања приказана докторском дисертацијом, 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 „РАЗВОЈ МАКРО КОНАЧНОГ ЕЛЕМЕНТА ПРИМЕНОМ ГРУПНО СУПЕРМАТРИЧНЕ ПРОЦЕДУРЕ ЗА НАБОРАНЕ КОНСТРУКЦИЈЕ“ кандидата Милоша Манеског, дипл. грађ. инж. прихвати, изложи на увид јавности и упуту на коначно усвајање Већу научних области грађевинско-урбанистичких наука Универзитета у Београду.

У Београду, мај 2018.

### ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ

---

др Миодраг Несторовић, редовни професор,  
Универзитет у Београду, Архитектонски факултет,  
у пензији

---

др Весна Милошевић-Митић, редовни професор,  
Универзитет у Београду, Машински факултет

---

др Растислав Мандић, редовни професор,  
Универзитет у Београду, Грађевински факултет