

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Архитектонски факултет

Ђорђе В. Стојановић

**Адаптивни принципи у архитектонском  
пројектовању**

докторска дисертација

Београд, 2013

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Архитектонски факултет

Ђорђе В. Стојановић

**Адаптивни принципи у архитектонском  
пројектовању**

докторска дисертација

Рад има: 258 страна

Редни број рада: \_\_\_\_\_

Београд, 2013

UNIVERSITY OF BELGRADE

Faculty of architecture

Djordje V. Stojanovic

# **Adaptive principles in architectural design**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2013

# УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

## Архитектонски Факултет

Ментор:

**Михаило Тимотијевић**

Редовни професор Универзитета у Београду, Архитектонског факултета

Чланови комисије:

**др Бранко Коларевић**

Редовни професор Универзитета у Калгарију, Faculty of Environmental Design

**др Владимир Мако**

Редовни професор Универзитета у Београду, Архитектонског факултета

**др Љиљана Петрушевски**

редовни професор Универзитета у Београду, Архитектонског факултета

**др Владимир Миленковић**

доцент Универзитета у Београду, Архитектонског факултета

Датум одбране:

---

Београд



## АДАПТИВНИ ПРИНЦИПИ У АРХИТЕКТОНСКОМ ПРОЈЕКТОВАЊУ

### Резиме

Овај рад представља прилог развоју методологије архитектонског пројектовања и бави се проучавањем адаптивних принципа у концепцији и реализацији архитектонских модела. Данас концептуални оквир „*адаптивна архитектура*“ обухвата просторна окружења, која су наменски пројектована тако да се могу прилагодити променљивим потребама корисника и климатским утицајима из окружења. Приступ тежи постизању боље функционалности простора и ефикасније употребе енергије, која је неопходна за његово коришћење. Управо зато, овај научни рад је усредсређен на разјашњење улоге адаптивних принципа у архитектонском пројектовању. Међутим, то чини са становишта које претходи увођењу и примени нових технологија у грађевинској индустрији – односи се на утврђивање пројектантских стратегија и алата, који истовремено омогућавају и захтевају апликацију иновативних техничких решења. Разматрање адаптивних принципа током процеса пројектовања, у оквирима ове студије, није неопходно условљено применом грађевинских решења, која омогућавају трансформацију простора, али не искључује променљивост изграђеног окружења. Рад истражује улогу појма адаптивности, која се првенствено односи на концепцију сложених просторних организација, структура и окружења, и имплицира променљивост током процеса архитектонског пројектовања, пре него променљивост реализованих архитектонских пројеката.

Рад је подељен у два дела: први је теоријски, заснива се на методи логичке аргументације и бави се анализом и систематизацијом сазнања о три различита, али комплементарна вида моделовања – аналогног, перформативног и прототипског. Други део је практичан, консистентно је документован и заснива се на истраживању кроз пројекат и обухвата процес концепције и реализације серије прототипских модела. Рад има експериментални карактер, и обједињује истраживачки и едукативни рад. Окосницу истраживања чини низ пројектантских радионица, на којима је учествовало приближно осамдесет студената са Архитектонског факултета Универзитета у Београду, гостујућег програма Архитектонске асоцијације из Лондона и других школа архитектуре. Као

полазиште истраживања кроз пројекат, постављена су два теоријска модела, који на различите, али повезане начине сугеришу успостављање организационих матрица, које се не заснивају на геометријским принципима и централним уређењима, већ на међусобним односима њихових конститутивних елемента. Интерпретација теоријских модела „Поља“ (Allen, 1997) и „Мреже“ (Wigley, 2001) је дата у оквиру поставке истраживања кроз пројекат, а затим је формиран један проблем истраживања, који гласи: како пројектовати, тако сложене и променљиве просторне организације, структуре и окружења? Формирана је претпоставка да управо адаптивни принципи омогућавају примену пројектантских алата, који су неопходни да би архитекта могао да сагледа и примени овакве идеје. Као резултат настаје стратегија пројектовања просторних организација и структура, које карактерише способност сталног раста и капацитет саморегулације у односу на променљиве утицаје из окружења.

**Кључне речи:** адаптација, аналогни модел, перформативни модел, прототипски модел, релационо моделовање, генетски алгоритам, пројектантска радионица, саморегулација просторних структура, раст просторних структура, самоорганизација просторних структура.

ДОКТОРАТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА

научна област: **АРХИТЕКТУРА И УРБАНИЗАМ**

ужа научна област: **АРХИТЕКТОНСКО ПРОЈЕКТОВАЊЕ**

УДК: 72.01:001.8(043.3)

## ADAPTIVE PRINCIPLES IN ARCHITECTURAL DESIGN

### Summary

This study is aiming at the development of architectural workflow through better understanding of the role of adaptive principles in the conception and production of architectural models. Today the conceptual framework of “*Adaptive Architecture*” is employed to describe any built environment specifically designed to change according to the needs of its users and climatic conditions of the environment, and is often based on digital technology involving sensors, actuators and controllers. In respect to the approach which is oriented toward better performance of the built space and more efficient energy use, this study explores the role of adaptive principles in architectural design. Yet, this is done from a different point of view; one which precedes the use of innovative technologies in the building industry. The study will help to establish new design strategies and tools which enable and demand the use of novel technical solutions. The understanding of adaptive principles is not conditioned nor confined to the use of building technology which enables a physical transformation of space, while it does not exclude the ability of the built environment to change over time. The study investigates the role of adaptive phenomena, which are primarily related to the conception of complex spatial organisations, structures and environments. It implies adaptations throughout the design process rather than transformation of the built environment.

There are two distinct segments of the research. The first one is theoretical, and based on logical argumentation. It provides an overview of the knowledge of three distinct but complimentary ways of modelling in architecture: analogue, performative and prototypical. The second segment is based on research by design which documents the process of conception and production of a series of prototypical models. This part of the study is experimental in nature and combines research with educational work. The backbone of the research is comprised of a series of design workshops with the participation of approximately eighty students from the Faculty of Architecture, University of Belgrade and the Visiting Programme of the Architectural Association, London, as well as several other schools of architecture. The departing point of the research by design is formed by two theoretical models, with different, yet connected

ways of suggesting the emergence of organisational patterns, which are not based on geometric and centrally controlled schemes, but on the internal and changing relations between their constitutive elements. The interpretation of both theoretical models, the “Field” (Allen, 1997) and the “Network” (Wigley, 2001) has led to the research on how to design such complex and changing spatial organisations. It is postulated that adaptive principles may hold a key role for many design tools, enabling architects to comprehend and use such ideas. The result emerges as a strategy for the design of spatial organisations and structures characterised by the ability for continuous growth and the capacity of self-regulation in respect to the changing conditions of the environment.

**Key Words:** adaptation, analogue model, performative model, prototypical model, relational modelling, genetic algorithm, design workshop, self-regulation in spatial structures, growth in spatial structures, self-organisation in spatial structures.

Scientific field: **ARCHITECTURE AND URBANISM**

Scientific discipline : **ARCHITECTURAL DESIGN**

**UDC:** 72.01:001.8(043.3)

## Садржај:

### УВОД

Уводне напомене о теми.....	1
Претходна анализа информација о предмету истраживања.....	1
Проблем и предмет истраживања .....	11
Полазна хипотеза истраживања.....	14
Циљеви и задаци истраживања.....	14
Научне методе истраживања.....	16
Генерална структура докторске дисертације.....	17
Научна оправданост и практична примена резултата.....	20

## ПРИКАЗ И ИНТЕРПРЕТАЦИЈА РЕЗУЛТАТА ИСТРАЖИВАЊА

### 1. Део

#### УЛОГА АНАЛОГНОГ, ПЕРФОРМАТИВНОГ И ПРОТОТИПСКОГ МОДЕЛА У РАЗВОЈУ АДАПТИВНИХ ПРИНЦИПА У АРХИТЕКТОНСКОМ ПРОЈЕКТОВАЊУ

<b>Глава I</b>	Аналогни модел.....	<b>22</b>
<b>1.1</b>	Разјашњење две улоге модела у архитектонском пројектовању .....	25
<b>1.2</b>	Аналогни аспекти моделовања .....	28
<b>1.3</b>	Механички аспекти моделовања.....	30
<b>1.4</b>	Просторно-темпорални аспекти моделовања.....	31
<b>1.5</b>	Преглед релевантних техника и стратегија моделовања.....	33
<b>Глава II</b>	Перформативни модел .....	<b>51</b>
<b>2.1</b>	Идентификација улоге перформативног модела у развоју адаптивних принципа и итеративне структуре у процесу архитектонског пројектовања .....	53
<b>2.2</b>	Параметарско моделовање .....	58
<b>2.3</b>	Моделовање путем генетских алгоритама.....	61
<b>2.4</b>	Моделовање путем наменског програмирања и употребе компјутерских језика .....	65

2.5	Преглед савремених истраживања у области алгоритамског моделовања физичких и материјалних процеса .....	69
2.6	Епистемолошко разјашњење улоге перформативног модела у процесу архитектонског пројектовања.....	72
<b>Глава III</b>	<b>Прототипски модел .....</b>	<b>77</b>
3.1	Идентификација улоге прототипског модела у развоју адаптивних принципа и итеративне структуре у процесу архитектонског пројектовања .....	79
3.2	Преглед релевантних техника и стратегија моделовања .....	82
3.3	Проблеми у пројектовању путем прототипских модела.....	90
3.4	Разјашњење улоге модела у пуној размери.....	93
3.5	Разјашњење улоге система за рачунарски помогнуто пројектовање и производњу (CAD/CAM) у развоју прототипског моделовања .....	95

## 2. Део

### ИСТРАЖИВАЊЕ КРОЗ ПРОЈЕКАТ И РЕАЛИЗАЦИЈУ ПРОТОТИПСКИХ МОДЕЛА ПРЕМА АДАПТИВНИМ ПРИНЦИПИМА

<b>Глава IV</b>	<b>Поставка истраживања путем серије прототипских модела од еластомера .....</b>	<b>100</b>
4.1	Полазиште истраживања кроз пројекат.....	103
4.1.1	Разјашњење теоријског модела „Поље“ .....	103
4.1.2	Разјашњење теоријског модела „Мрежа“ .....	105
4.2	Разјашњење односа између теоријског и пројектантског модела .....	108
4.2.1	Умрежавање или формирање сложених уређења кроз успостављање односа међу елементима.....	113
4.2.2	Формативни утицај физичких особина материјала.....	115
4.2.3	Континуални раст и флексибилност структуре.....	117
4.3	Дефиниција аналогног односа између адаптивности простора и еластичности материјала.....	119
4.4	Преглед карактеристика еластомера, градивног материјала за израду прототипских модела .....	121
4.5	Поставка технике моделовања .....	124

	4.6	Поставка итеративне структуре пројектовања и прототипског развоја .....	130
<b>Глава V</b>		Пројектовање и реализација прототипских модела од еластомера .....	<b>134</b>
	5.1	Пројектантска радионица „Недоследности в.01“, октобар 2010. године, Архитектонски факултет у Београду .....	137
	5.2	Пројектантска радионица „Недоследности в.02“, јул 2011. године, Универзитет у Техерану, гостујући програм Архитектонске Асоцијације .....	140
	5.3	Пројектантска радионица „Недоследности в.03“, октобар 2011. године Галерија ОЗоне у Београду .....	149
	5.4	Пројектантска радионица „Недоследности в.04“, јун 2012. године, Анекс Куле Небојша у Београду .....	157
	5.5	Пројектантска радионица „Недоследности в.05“ септембар 2012. године, Грађевински факултет у Риједи .....	191
<b>Глава VI</b>		Интерпретација и анализа податка добијених током пројектовања и реализације прототипских модела од еластомера .....	<b>195</b>
	6.1	Систематизација циљева и претпоставки начињених током поставке истраживања кроз пројекат - <i>ex ante</i> анализа .....	198
	6.2	Систематизација запажања и закључака остварених током истраживања кроз пројекат - <i>ex post</i> анализа .....	201
	6.3	Интерпретација добијених података .....	210
	6.3.1	Аналогни однос између еластичности материјала и адаптивности просторних организација .....	211
	6.3.2	Успостављање просторних организација путем иницијалних и емергентних правила .....	213
	6.3.3	Адаптивни принципи и способност саморегулације просторних организација.....	215
	6.4	Евалуација испуњености постављених циљева и задатака истраживања .....	216
		<b>ЗАКЉУЧЦИ И ПРЕПОРУКЕ .....</b>	<b>226</b>
		<b>ЛИТЕРАТУРА.....</b>	<b>240</b>

## **Уводне напомене о теми истраживања**

У јуну, 1974. године, Институт за лаке конструкције Универзитета у Штутгарту (*Institut für leichte Flächentragwerke Universität Stuttgart*) је организовао петодневни симпозијум под називом „Адаптивна архитектура“ (*Anpassungsfähig Bauen*). На скупу су поред архитеката из десет земаља, учествовали физичари, биолози, социолози, еколози, политичари и историчари. Тада се, у оквиру идеја о адаптивној градњи, дискутовало о темама које су и данас релевантне, као што су: економична експлоатација потрошних извора енергије, умањење негативних утицаја на окружење и проналажење равнотеже у развоју животне средине (Meissner, 2005). Следеће године, Институт је објавио публикацију са истим називом, која је садржала извештај са симпозијума, и проширену верзију текста „Адаптивна архитектура“, који је написао Фреј Ото (Frei Otto), оснивач Института за лаке конструкције. За њега је кључно питање било следеће: Да ли изграђено окружење може бити адаптивно? (Meissner, 2005). Тридесет осам година након симпозијума у Штутгарту, у архитектури није дат адекватан одговор на ово питање. Проблем адаптивности никада у потпуности није истражен. Реализације адаптивних просторних организација, структура и окружења су само делимичне, веома ретке и још увек окупирају домене експерименталног и истраживачког рада у архитектонском пројектовању.

## **Претходна анализа информација о предмету истраживања**

Појам „адаптација“ потиче из научне области биологије и означава процес у коме се анатомска структура живих организама прилагођава окружењу кроз њихову еволуцију. Анализа информација о предмету истраживања односи се на текстове из области филозофије и теорије архитектуре који везују овај појам за процес архитектонског пројектовања, односно процес који претходи настајању архитектонске форме.

У архитектској теорији и пракси се током шездесетих година јављају идеје које имплицирају различите видове адаптивности или променљивости изграђеног окружења. Ове идеје се манифестују као низ утопистичких пројеката и веома мали број реализованих идеја. Везују се за престанак доминације дискурса који је



поставио ЦИАМ (*Congrès internationaux d'architecture moderne*) и настанак Тима 10 (*Team 10*), као и деловање низа других аутора који се коинцидентно у различитим срединама баве овим проблемом. У Холандији, под етикетом структурализма, Алдо ван Ајк, (*Aldo van Eyck*) са реализованим пројектом за Градску установу за бригу о деци у Амстердаму (*Amsterdam's Municipal Orphanage*) из 1960. године и нешто касније Херман Херцбергер (*Herman Hertzberger*) са пројектима за стамбени објекат (*Diagoon Housing*) у Делфту из 1967. године, и пословни објекат (*Central Beheer Office Complex*) у Апелдорну из 1972. године, развијају идеју о „**поливалентном**“ окружењу, отвореној и недетерминисаној концепцији, према којој је адаптација простора предвиђена током употребе и кроз непосредну партиципацију корисника. У Великој Британији, током читаве декаде, група Архиграм (*Archigram*) производи утопистичке пројекте који редом представљају различите видове „**адаптивних**“ структура као што су: „Ходајући град“ (*Walking City*) из 1963. године, стамбени пројекат „Контрола и избор“ (*Control and Choice Dwellings*) из 1967. године и „Инстантни Град“ (*Instant City*) из 1968. године. Такође, у Великој Британији, Седрик Прајс (*Cedric Price*) публикује пројекат „Палата забаве“ (*Fun Palace*) из 1960. године, који представља програмски неодређен и „**реактиван**“ простор, опремљен мобилним компонентама којима је омогућена његова адаптација према потребама корисника. У Француској, Јона Фридман (*Yona Friedman*) и ГЕАМ (*Groupe d'Etudes d'Architecture Mobile*) развијају визију друштва заснованог на „**мобилним**“ структурама у пројекту „Просторни град“ (*Ville Spatial*) из 1960. године. У Јапану, група архитеката објављује манифест „Метаболизам 1960: Предлог за Нови урбанизам“ (*Metabolism 1960: The proposals for a New Urbanism*) који најављује серију иновативних предлога за просторне структуре које се темеље на биолошким принципима „раста“. У распону од неколико година објављен је низ визионарских планова за градове, као што су Тангеов (*Kenzo Tange*) „План за Токио“ (*Tokyo Plan*) из 1960. године, Исозакијев (*Arata Isozaki*) пројекат „Кластери у ваздуху“ (*Clusters in the Air*) из 1962. године и Кикутакеов (*Kiyonori Kikutake*) „Плутајући Град“ (*Floating City*) из 1961. године. Нешто касније, Кишо Курокава (*Kisho Kurokawa*, 1972) у пројекту за стамбени торањ Накагин (*Nakagin Capsule Tower*) у Токију реализује фрагмент оваквих идеја у домену префабриковане градње. Објекат је планиран као адаптивни систем сачињен од великог броја префабрикованих јединица које су причвршћене за

бетонско језгро. Овакав систем је требало да омогући промене, односно дозволи физичку реконфигурацију грађевине током њене употребе. Међутим, након мање од четири деценије објекат је напуштен и предвиђен је за рушење и то управо због неспособности да се прилагоди новонасталом контексту. Практична потврда архитектонских тенденција из шездесетих година никада није остварена, али је утицај идеја о адаптивним и променљивим концепцијама простора, насталим у овом периоду, веома видљив у савременој архитектонској теорији и то управо кроз пет термина који су идентификовани у виду кључних просторних карактеристика или одредница организације простора које употребљавају сами аутори у описима својих пројеката. То су: поливалентност, адаптивност, реактивност, мобилност и способност раста.

Паралелно са великим утопијама шездесетих година, Кристофер Александер (Christopher Alexander, 1963) објављује своју докторску дисертацију у књизи „Белешке о синтези форме“ (*Notes on the Synthesis of Form*) у којој процес адаптације и појам променљивости везује за процес архитектонског пројектовања, пре него за просторне карактеристике архитектонске форме. У његовој дисертацији централна места заузимају дискусија о инструментализацији дијаграма, и разматрање аналитичке природе архитектонског пројектовања и методолошког истраживања које претходи синтези форме. Александер повезује настанак архитектонске форме са њеним окружењем, тврдећи да свака форма поседује контекст који условљава њено постојање и са којим чини нераскидиву целину, називајући је „ансамбл“ (*ensemble*). Према овој идеји, циљ пројектовања је проналажење међусобно прихватљивог и складног односа између форме и контекста, а сâм ток пројектовања је осмишљени процес који Александер пореди са процесом биолошке адаптације. Он указује на рад шкотског биолога Дарси Томсона (D'Arcy Thompson) који почетком деветнаестог века изучава еволуцију животињских врста и дефинише форме живих организама као „дијаграм сила“, односно као променљив резултат деловања сила из окружења (Thompson, 1917 p.16). Претходно је Дарвин (Charles Darwin) развио теорију о настанку врста, према којој се у биолошком свету, кога чине жива бића и њихово окружење, за оцену успешности одређене врсте користи ниво њене прилагођености, односно способности адаптације према датој средини. Консеквентно, Александер је приметио да грађевине старијих цивилизација представљају много бољи одраз

култура у којима су настајале него што савремени објекти одражавају данашње потребе, и то управо због тога што су настајале кроз процес адаптације који се одвијао вековима. Дугачак низ корекција и промена учинио је такве архитектонске форме складним и функционалним, иако оне нису конципиране и реализоване према цртежима и моделима, као што је то случај у савременом архитектонском пројектовању. У великој мери, Александерова дисертација је покушај да се такав дуготрајни процес адаптације преведе и сажме у савремени процес архитектонског пројектовања, односно метод стварања форме. Његова основна хипотеза је да се процес пројектовања састоји од комплексних одлука и да захтева аналитички алат који омогућава контролу великог број међусобно условљених варијабли, одакле као суштина произилази идеја о дијаграму (Alexander, 1963).

„Временом, дијаграм постаје најефикасније средство које архитекта има на располагању да би се ухватио у коштац са комплексним проблемима“ (van Berkel, Bos, 1998 p.23). У периоду који следи након Александерове дисертације, односно „у последњих тридесет година двадесетог века, начин рада у архитектонској авангардној пракси се суштински променио, тако да дијаграм постаје основно пројектантско средство уместо цртежа који је традиционално имао ту улогу“ (Somol, 1999 p.6). Међутим, док архитектонски цртеж има јасно значење и представља документ или конвенцију за похрањивање информација (Eisenman, 1998 p.60), тумачење улоге дијаграма оставља пуно простора за истраживање. За Александра који је стварао шездесетих година прошлог века, то је представљало вид организације процеса пројектовања, растављање комплексног проблема на мање и једноставније сегменте које је онда могуће контролисати кроз логичке механизме као што су хијерархија, класификација и теорија скупова. У новијој архитектонској теорији која се бави питањем дијаграма (Kipnis 1993, Lynn 1996, van Berkel Bos 1998 p.19, Eisenman 1999 p.29, Allen 2000 p.49, De Landa 1997 p.499, Somol 1998. p.23, Kwinter 1998 p.60, Resier Umemoto, 2006 p.66, Scumacher 2010 p.261, Zaera Polo 2010 p.242), главно теоријско упориште чини мисао француског филозофа Жил Делеза (Gilles Deleuze), према којој дијаграм не поседује везу са визуелном представом, већ непосредно са чином препознавања и превазилажењем неког проблема. „Дијаграмска или апстрактна машина, не функционише као представа, нити као нешто стварно, већ тако што конструише

оно што тек треба да се оствари, као нова врста реалности“ (*The diagrammatic or abstract machine does not function to represent, even something real, but rather constructs a real that is yet to come, a new type of reality.* Deleuze Guattari, 1988 p.142). У контексту архитектонског пројектовања оваква дистинкција између репрезентативног и аналитичког, односно дескриптивног и истраживачког, видљива је у карактеру нових алата и техника који првенствено подразумевају трансформацију и проширење улоге моделовања у процесу архитектонског пројектовања.

Тежиште изучавања у теорији архитектуре се током деведесетих година помера са самих објеката, на процес пројектовања и развој наменских и специфичних техника моделовања у архитектонском пројектовању. Уколико прихватимо Делезову идеју према којој дијаграм има генеративну улогу у процесу стварања, модел у архитектонском пројектовању, као механизам са генеративним својством, можемо сагледати као средство за откривање нових и типолошки неодређених просторних конфигурација. „Принцип по коме се формирају односи унутар неког дијаграма неизбежно постаје латентна структура организације простора“ (Eisenman, 1999, p.27). Овакво запажање такође подржава потребу за дубљом интерпретацијом односа између саме технике моделовања и њеног коначног исхода, реализованог пројекта. Према Нердингеру (Winfried Nerdinger 2001), продукција архитектонских модела мотивише развој грађевинске технологије кроз читаву историју. На пример, Брунелескијев (Fillipo Brunelleschi) модел куполе катедрале у Фиренци или Гаудијев (Antonio Gaudi) модел Цркве Колоније Гуел у Барселони непосредно доприносе визуелизацији и конструкцији до тада нереализованих просторних форми (Nerdinger, 2001 p.16). Однос између пројектантских медија и техника са једне стране и готових архитектонских дела са друге, представља богато поље истраживања, у коме полазно место заузима Евансов (Robin Evans, 1995 pp.153-194) есеј „Трансформације од цртежа до објекта“ (*Trnsformations from Drawing to Building*) у коме је изнето запажање да „архитекте не производе зграде, већ цртеже зграда“ (*Architects do not make buildings, they make drawings for buildings*).

У континуитету са Евансовим радом, Стен Ален (Stan Allen) се позива на Нелсона Гудмана (Nelson Goodman, 1968), америчког филозофа естетике, који прави разлику између две врсте уметности: „аутографских“ као што су сликарство

и вајарство, које зависе од непосредног контакта између аутора и дела; и „алографских“ као што су плес, музика и позориште, где присуство аутора није неопходно јер је аутентичност дела заснована на систему нотација према којима ће се његова форма реализовати у будућности и током одређеног временског периода. Аллен сматра да архитектуру можемо посматрати као алографску форму, која је заснована на временским процесима (Allen 2000). Укључивање временске компоненте уноси нови поглед на Евансову тврдњу, и то у погледу диференцијације између медијума, као што су цртеж или модел, и реализованог архитектонског пројекта.

Временска разлика између концепције и реализације архитектонског пројекта оставља могућност унапређења сâмог модела током процеса пројектовања. Све информације добијене путем спровођења тестова, као и сазнања стечена на основу пројектантског модела, могу бити примењене за измену постојећег или стварање новог модела. У својој дисертацији „Разлике и понављања“ (*Difference and Repetition*), Делез је идентификовао способност одређене форме да се манифестује кроз вишеструки број физичких проба или инстанци. Кроз концепт „дивергентне актуелизације“ (Deleuze, 1994), Делез указује да дистинкција између могућег и стварног, омогућава да једна физичка форма буде испољена путем низа сопствених манифестација. У интерпретацији Мануела Деланде (Manule DeLanda 1998, p.30) ова идеја гласи: „Свако моделовање будућности је отворено и присутно у садашњости као потенцијал који ће се реализовати или као виртуелно које ће се актуелизовати... Уколико је будућност дефинисана у прошлости, и уколико је будућност модалитет времена у коме се реализују само претходно детерминисане могућности, онда истинска иновација није могућа“. Како преноси Деланда, Делезов концепт „дивергентне актуелизације“ се надовезује на становиште француског филозофа Анрија Бергсона (Henry Bergson), који је почетком двадесетог века написао низ текстова у којима је критиковао науку тог времена због неспособности да досегне нешто ново и иновативно усмери размишљање људи. Он је идентификовао проблем у механичком или линераном начину размишљања заснованом на ригидној условљености и детерминизму на коме наука инсистира (DeLanda 1998. p.30). У трећем поглављу књиге „Креативна еволуција“ (*Creative Evolution*), Бергсон ово илуструје тврдњом да човек никада не би могао да претпостави да уме да плива да

се није бацио у воду вођен сопственом интуицијом, јер једноставном дедукцијом не би било могуће **извести пливање од ходања (?)** (Bergson, 1994). Он везује процес креације за појам времена развијајући теорију „трајности“ (*Duration*) према којој разумевање времена постаје субјективно, и оно се кроз интуитивно поимање може убрзати или успорити независно од реалног времена (Bergson, 2001). У контексту архитектонског пројектовања, тежња за обухватањем промена и увођењем временске компоненте у процес концепције архитектонске форме, има значајан утицај на конституцију нових пројектантских алата и техника. У књизи „Анимирана форма“ (*Animate Form*), Грег Лин (Greg Lynn, 1999) објављује резултате истраживања еволутивног приступа у обликовању простора и указује потребу за систематским обухватањем времена и покрета у оквиру дефиниције облика. Он истражује примену тополошки дефинисаних форми у архитектонском пројектовању, које су засноване на векторским принципима и указује на потребу за укључивањем формативног утицаја спољних сила у сâм ток концепције просторних организација (Lynn, 1999).

У савременим истраживањима из области теорије архитектонског пројектовања, поново уочавамо потребу за испитивањем односа између модела и онога што модел представља, односно реализованог архитектонског пројекта. Традиционално успостављене границе између пројектовања, конструкције и употребе неког објекта, као три основне фазе сваког архитектонског пројекта, доведене су у питање на основу развоја методологије и технологије архитектонског пројектовања (Ayers, 2012). Могућност нелинеарне прогресије архитектонског пројекта и продубљивање међусобне условљености између ових фаза, представљају отворене теме истраживања. Оне указују на потребу за преиспитивањем основних методолошких принципа архитектонског пројектовања, обухватањем временске компоненте и могућности адаптивне концепције архитектонске форме. Међу отвореним питањима су и она која се односе на нове видове моделовања и нове форме архитектонских модела које укључују и прототип као посебан облик архитектонског модела. Употреба прототипских модела пореметила је ток стандардног процеса архитектонског пројектовања који се креће од концепта до конструкције објекта (Burry, 2012). Потреба за даљим проучавањем прототипских модела лежи управо у испитивању могућности за обједињавање аспеката пројектовања и реализације архитектонских

пројеката. Са друге стране, у нове форме модела у савременој архитектонској пракси, такође сврставамо и различите облике рачунарски заснованих модела међу којима је и симулација као посебан вид архитектонског моделовања. Значај симулације у архитектонском пројектовању се односи на обухватање „динамичких процеса обликовања и перформативних стратегија, које су са једне стране засноване на неопипљивим вредностима као што су на пример културолошке перформансе, а са друге на квантитативним и квалитативним аспектима у грађевинској индустрији као што су конструкција, акустика или климатске карактеристике“ (Kolarević 2003, p.462). Потреба за даљим проучавањем улоге симулације и перформативних модела у процесу архитектонског пројектовања налази се управо у испитивању могућности непосредније примене повратних информација које настају на основу истраживања путем примене оваквих модела. Потреба за продубљивањем разумевања улоге прототипских и перформативних модела у архитектонском пројектовању, лежи у развијању могућности за сагледавање континулане адаптације предмета или објекта који је моделован, према информацијама које генерише његов контекст. „Симулација је модел који није статичан већ представља енкапсулацију процеса“. Према Веинстоковом (Michael Weinstock, 2006) становишту, примена симулације омогућава измештање пројектантског фокуса са саме просторне форме, на испитивање односа, процеса и система. Оваква улога симулације у процесу архитектонског пројектовања надовезује се на претходно наведена полазишта архитектонске теорије која настају током деведесетих година прошлог века.

Парадоксално, почетке развоја прототипских и перформативних модела налазимо изван најужих граница делатности архитектонског пројектовања, и то управо током шездесетих година прошлог века, односно периода у коме настају архитектонска достигнућа која смо идентификовали у првом параграфу овог поглавља, а који се односи на анализу постојећих информација о предмету истраживања. Упоредо са архитектонским тежњама које сложено указују на адаптивне карактеристике просторних окружења, Фреј Ото је, у домену конструктивног инжењерства, експериментисао са грађевинским материјалима и конструктивним системима у којима проблем адаптивности преводи на ниво материјализације и конструкције изграђене средине. Централно место у његовом

раду заузима интересовање за интелигенцију природних процеса, и преношење таквог знања на процес пројектовања и конструкције просторних форми. У свом раду Ото се готово искључиво ослањао на експериментисање путем просторних, односно физичких модела (Roland, 1965) ради истраживања „аутономних процеса формације“, односно процеса који се одвијају без људске интервенције и воде ка стварању форме у експерименталним условима и према научно прихваћеним законима (Barthel, 2005).

Рад Фреј Ота представља полазиште једног броја савремених истраживања у области архитектонског пројектовања. Примена рачунарске технологије се успешно надовезује на Отове идеје које настају шездесетих година прошлог века. На пример, истраживачки рад Џона Фрејзера (John Frazer, 1995) на Универзитету у Кембриџу (*Cambridge University*) и Школи за архитектуру при Архитектонској асоцијацији (*Architectural Association*) у Лондону, током деведесетих година прошлог века, а који је документован у књизи „Еволутивна архитектура“ (*Evolutionary Architecture*), указује на потребу за изучавањем природних процеса и система у области архитектонског пројектовања, путем примене рачунарски заснованих техника моделовања. Према његовим речима природни системи рециклирају градивне материјале, омогућавају промене и адаптације сопствене структуре и налазе начин за ефикасну употребу енергије из окружења, за разлику од већине изграђених окружења која имају једноставне и непотпуне структуре, која не рециклирају материјале, не могу да се адаптирају и неконтролисано троше енергију. Међутим и данас постоје велики изазови, као и неостварене могућности у погледу разумевања и примене адаптивних принципа у архитектонском пројектовању. Једно од питања, које се намеће, односи се на могућности трансфера техника моделовања (као што су перформативно и прототипско моделовање) са периферних дисциплина (као што су конструкција или грађевинска физика) на сâмо питање обликовања и организације простора које лежи у суштини архитектонског пројектовања. И данас у архитектури неостварену тежњу представља способност концепције и реализацији просторних структура које поседују интелигенцију и карактеристике живих организама.

Уколико прихватамо да у савременој архитектонској пракси још увек тешко можемо да идентификујемо примере реализованих просторних организација, структура и окружења које се заснивају на адаптивним принципима,



онда можемо покушати да на основу идеја које настају у домену архитектонске теорије, покренемо испитивање и установимо улогу адаптивних принципа у реализацији нових форми просторних организација, структура и окружења које истовремено изискују и подржавају нове облике друштвених, економских и културних институција. У архитектонској теорији, савремена стремљења су неретко описана као „просторна стања“. Поглед на просечну архитектонску полицу са књигама пружа еклектичку подршку за овакву опсервацију. Нескладна (Kipnis, 1993), Мекана (Kwinter, 1996), Неформална (Balmond, 2002), Дигитална (Mitchell, 1977), Еволуцијска (Frazer 1995), Реактивна (Price, 1984), Интензивна (Raiser, Umamoto, 2006), Морфогенетска (DeLanda, 1995) и неизоставно Модерна (Corbusier, 1923) су различити атрибути који су употребљени да би се описало одређено стање у архитектури. У свакодневном говору, термин „стање“ користимо да опишемо низ испреплетаних околности у којима се налази неко или нешто, и које не би могле осликати то стање када би се употребиле раздвојено, свака за себе. Пут именовања „стања“ није претерано прецизан начин дефинисања проблема једног научног истраживања, али може допринети интуитивном и информисаном усмеравању тог истраживања ка одређеном циљу, тако да се оно може одвијати према прихваћеним стандардима научног рада. Два, недавно идентификована стања у архитектонској теорији чине платформу за истраживање кроз пројекат које је документовано у другом делу ове дисертације. Прво је стање „Поља“, које је поставио амерички архитекта и теоретичар Стен Ален (Stan Allen, 1997), а друго је стање „Мреже“, које је представио новозеландски теоретичар Марк Вигли (Marc Wigley, 2001). Стање „Поља“ је дефинисано као формална и просторна матрица у којој је могуће обједињавање различитих елемената уз задржавање њихових идентитета. Овакво стање није хијерархијски уређено, већ је и условљено успостављањем односа на локалном нивоу. Интерне везе између делова неког система су кључне док његов облик и границе могу бити променљиве (Allen, 1997). Са друге стране, стање „Мреже“ је дефинисано у виду система испреплетених елемената, а тај систем поседује особине биолошких организма. Путем међусобне повезаности мноштва елемената, остварују се токови енергије, информација и статичких оптерећења. Овакво просторно стање односи се на структуру која не поседује ентеријер или екстеријер. Елементи који чине мрежу могу истовремено бити унутар и ван ње (Wigley, 2001).

Полазиште истраживања кроз пројекат се заснива на идејама „Поља“ (Allen, 1997) и „Мреже“ (Wigley, 2001) као позицијама на основу којих се покреће испитивање могућности за концепцију и реализацију комплексних и променљивих просторних окружења путем примене адаптивних принципа у процесу архитектонског пројектовања и то кроз употребу аналогног, перформативног и прототипског модела. Измештањем проблема истраживања из теоретског у експериментални контекст, што тематски одређује разлику између првог и другог дела ове дисертације, биће покренуто питање даљег развоја архитектонских идеја „Поља“ (Allen, 1997) и „Мреже“ (Wigley, 2001) и то путем материјално заснованих испитивања.

### **Проблем и предмет истраживања**

Проблем истраживања је поставка специфичне и још увек недовољно испитане стратегије архитектонског пројектовања која се заснива на адаптивним принципима. Упоредо са биолошким значењем појма адаптације, према коме живи организми временом прилагођавају своју анатомску структуру у односу на своје окружење, у процесу архитектонског пројектовања овај појам садржи две кључне одреднице, које уједно чине претпоставке које одређују оквире овог научног рада. Оне обухватају:

- Артикулисану и континуалну промену архитектонске форме током процеса архитектонског пројектовања,
- интеграцију временске компоненте у токове концепције и реализације архитектонских пројеката.

Полазни предмет истраживања је идентификација и анализа улоге аналогних модела у архитектонском пројектовању која подржава структуру процеса пројектовања у виду биолошке адаптације, односно омогућава континуалну промену архитектонске форме током процеса архитектонског пројектовања.

Интересовање за адаптивне принципе у савременој архитектонској теорији је проузроковало појаву сасвим нових логичких и технолошких алата у пројектантској пракси, као што су параметарско или асоцијативно моделовање и употреба генетских алгоритама. Овакви алати дозвољавају брзе и једноставне промене архитектонског модела и тако омогућавају итеративни приступ у раду са

архитектонском формом. Путем примене нових алата, процес архитектонског пројектовања се заснива на ланчаној адаптацији пројекта током које се знање преноси кроз еволутивну серију модела у којој свака итерација садржи формативне информације за ону следећу у низу. На овај начин, уместо једног и детерминисаног решења, процес архитектонског пројектовања можемо сагледати као низ итерација или континуални ток адаптација, који за собом оставља видљиву структуру. Овим путем, фокус архитектонског деловања се помера са одређивања једне и непроменљиве форме на конфигурацију процеса обликовања који производи мноштво форми са заједничким карактеристикама, али и индивидуалним специфичностима које их дефинишу. Одлике оваквог итеративног приступа се не односе само на омогућавање већег броја покушаја као гаранције за бољи и квалитетнији резултат, већ и на суштинске промене у развијању знања путем остваривања могућности за укључивање повратних информација, које настају кроз интеракцију предмета моделовања и његовог окружења, у токове процеса пројектовања. У архитектури се идеја о примени повратних токова информација развија од шездесетих година прошлог века до данас, кроз асимилацију интердисциплинарних студија о системима и структурама, које се заснивају на принципима „контролне теорије“, која је првобитно развијена у математици. У области архитектонског пројектовања, овакве идеје су преузете и истраживане ради могућности непосредне интеграције повратних информација у токове концепције и реализације архитектонске форме. Потенцијали реорганизације процеса архитектонског пројектовања, на основу интеграције повратних информација, још увек нису адекватно испитани. Проблем остваривања међусобно формативног односа између архитектонског пројекта и његовог окружења, до данас није довољно конкретно обрађен у оквирима области архитектонског пројектовања.

Предмет овог истраживања је улога модела у архитектонском пројектовању која омогућава проширивање поља деловања, путем непосредног укључивања информација које везујемо за перформативне аспекте у архитектонском пројектовању, попут карактеристика грађевинских материјала или утицаја из окружења. Овакви, до сада недовољно видљиви аспекти архитектонског пројектовања могу бити изражени квантитативним путем и могу бити примењени у експериментално оријентисаном испитивању. Међутим,

могућност непосредног обликовања архитектонске форме према перформативним информацијама, није сагледана у потпуности и није методолошки одређена у оквирима процеса архитектонског пројектовања. У друштвеним дисциплинама, симулација се разматра као вид научног истраживања, који се по свом карактеру разликује од истраживања путем модела, и приближава се истраживању путем експеримента, управо услед егзактног, непосредног и формативног утицаја информација на предмет изучавања (Axelord 1996, Varene, 2010). У области архитектонског пројектовања, овакав приступ још увек није довољно испитан. Импликације на структуру процеса архитектонског пројектовања, које се јављају услед примене симулације и нових видова моделовања, нису разјашњене.

Итеративна структура процеса архитектонског пројектовања почива на изради прототипских модела, чија је основна намена стицање сазнања која се потом користе за реализацију следеће итерације. Веродостојност материјализације и размере оваквих модела се огледа у квалитету информација које они генеришу. У индустријском дизајну, прототип се израђује у правој величини - размери један на један, и употребом материјала који конкуришу за крајњу израду пројекта. У архитектури, веродостојност прототипа често није апсолутна услед величине и комплексности грађевинских пројеката. Улога прототипског модела постаје сложена услед саме природе грађевинске индустрије која обухвата област архитектонског пројектовања. Предмет истраживања такође обухвата појашњене улоге прототипског модела у процесу архитектонског пројектовања, чија специфичност у поређењу са другим архитектонским алатима, као што су цртеж, макета и дијаграм, лежи управо у непосредном укључивању аспеката извођења или фабрикације пројекта у сâм процес пројектовања, што превазилази традиционалну поделу између концепције и реализације архитектонског дела. Испитивање се односи на утврђивање видова архитектонског моделовања који омогућавају приближавање и обједињавање процеса концепције и конструкције архитектонске форме. Испитивање улоге прототипског модела - новог средства које настаје из идеје о примени адаптивних принципа у архитектском пројектовању, врши се путем реализације серије прототипских модела у оквиру посебног сегмента истраживања.

## **Полазна хипотеза истраживања**

Основна претпоставка овог истраживања је да је будућност архитектуре условљена њеном способношћу да се прилагоди променљивим околностима развијајући нове и агилније начине деловања. Овај научни рад је фокусиран на интерни и методолошки проблем унутар сопствене професије, на реорганизацију процеса пројектовања, остављајући аспекте примене као секундарну и знатно ширу тему за даље истраживање.

Према свему наведеном постављена хипотеза истраживања гласи:

**Примена адаптивних принципа проширује поље архитектонског пројектовања увођењем итеративне структуре процеса пројектовања, која се заснива на примени аналогних, перформативних и прототипских модела као основних медија у том процесу.**

Очекивани научни допринос предложеног истраживања је у области архитектонске теорије. Овај рад нема претензију да конструише нови универзални метод у архитектонско-урбанистичком пројектовању, већ има за циљ да приближи и разјасни само један могући приступ у овој области, који је оријентисан према савременим потребама и контексту у коме се од архитектонске професије очекује да понуди просторне организације за нове форме друштвених, економских и културних институција.

Провера постављене хипотезе врши се истраживањем кроз пројекат и израду серије прототипских модела, намењених тестирању постављеног концепта и методологије пројектовања.

## **Циљ и задаци истраживања**

У анализи информација о предмету истраживања утврђен је историјат и вишедеценијски континуитет у недовршеном развоју идеја о адаптивним принципима у авангардној архитектонској пракси и теорији. Сматрам да је ова тема од значаја у формирању једне савремене парадигме у архитектури и да она до сада није довољно испитана. На основу спроведеног истраживања, закључујем да овај проблем није обрађиван у нашој средини и да не постоје преводи

релевантних иностраних научних радова или текстова из области архитектонске теорије. Основни циљ овог научног рада је допринос методологији пројектовања кроз продубљивање разумевања и објашњење улоге адаптивних принципа у концепцији и реализацији архитектонске форме. Секундарни циљ ове дисертације је развијање технике моделовања сложених просторних структура које се састоје од великог броја различитих елемената, које су у сталном расту, које поседују капацитет само-регулације и које поседују способност адаптације или промене сопствене форме према наметнутим утицајима из окружења. Из постављених циљева произилазе следећи задаци:

- Идентификација и организација већ утврђених идеја о адаптивним принципима у архитектонском пројектовању (Увод).
- Поставка логичког оквира за концепцију променљиве просторне форме (Увод).
  
- Испитивање и систематизација знања о итеративној структури процеса архитектонског пројектовања (глава I, II, III).
- Идентификација и истраживање улоге аналогног модела у развоју адаптивних принципа у архитектонском пројектовању (глава I).
- Појашњене улоге перформативног модела и симулације у развоју адаптивних принципа у архитектонском пројектовању (глава II).
- Утврђивање улоге прототипског модела у концепцији и реализацији архитектонског пројекта (глава III).
- Испитивање могућности за приближавање просторних или физичких и рачунарских или дигиталних техника моделовања (глава I, II, III, IV, V, VI).
  
- Провера заснованости хипотетичких принципа путем материјално заснованог испитивања и кроз израду серије прототипских модела (глава IV, V, VI).
- Идентификација и разјашњење релевантних теоријских модела као полазишта за испитивање адаптивних принципа у архитектонском пројектовању путем примене рачунарске симулације и реализације серије прототипских модела (глава IV).

- Испитивање могућности повезивања адаптивних принципа у архитектонском пројектовању са својством еластичности материјала путем материјално заснованог истраживања (глава IV, V, VI).
- Испитивање технике архитектонског моделовања која омогућава непосредно укључивање перформанси материјала (глава IV, V, VI).
- Истраживање могућности боље усаглашености између геометријске конфигурације модела, перформанси материјала и утицаја из окружења (глава IV, V, VI).
- Утврђивање методолошких оквира ради спровођења итеративне серије експеримената у виду секвенце пројектантских радионица (глава IV, V, VI).
- Утврђивање примене адаптивних принципа у процесу пројектовања (глава VI).

### **Научне методе истраживања**

Истраживање се састоји из два различита, али повезана дела. У оквиру првог дела, који је теоријског карактера, бавимо се идентификацијом техника моделовања које омогућавају итеративну структуру процеса архитектонског пројектовања, односно анализом улоге аналогног, перформативног и прототипског модела у процесу архитектонског пројектовања. У оквиру другог дела, који експерименталног карактера, врши се материјално засновано испитивање претпоставки које су формиране у првом делу дисертације. Истраживање адаптивних принципа у архитектонском пројектовању везујемо за боље разумевање појма еластичности, способности промене форме и хемијске структуре материјала. Бавимо се питањем материјализације, односно истраживањем повезаности између карактеристика градивног материјала и технике моделовања кроз реализацију серије прототипских модела. Полазиште другог дела истраживања, заснива се на интерпретацији два савремена теоријска становишта, која су дефинисана у виду просторних стања „Поља“ (Allen, 1997) и „Мреже“ (Wigley, 2001). Изазове у пројектовању и реализацији просторних организација које одговарају стањима „Поља“ и „Мреже“ повезујемо са потребом за бољим разумевањем адаптивних принципа у архитектонском пројектовању. До

сознања долазимо упоређивањем формираних претпоставки и запажања која настају током спровођења експеримената у виду реализације серије прототипских модела, односно путем истраживања кроз пројекат.

Први део истраживања је заснован на методологији логичке аргументације. Тумачењем текстова архитектонске теорије и интерпретацијом пројектантских стратегија, створен је логички оквир који обједињује претходно неповезане чињенице и представља платформу за даљи истраживачки рад. У овом делу дајемо појашњене улоге различитих модела и техника моделовања у архитектонском пројектовању, које се заснивају на адаптивним принципима. Овде формиране претпоставке посредно утичу на поставку другог дела истраживања

Научна метода другог дела дисертације је истраживање кроз пројекат, које је структурирано у виду итеративног процеса. Транспарентност истраживања кроз пројекат омогућава стицање нових знања. Очекивани резултат чини реализација серије прототипских модела чије ће пројектовање, израда и анализа бити доследно документовани. Комбинацијом *ex ante* анализе целокупног циклуса пројектовања и *ex post* анализе добијених резултата врши се провера постављене тезе и претпоставки које су формиране током првог дела истраживања и односе се на пројектантске методологије и технике моделовања утемељене на адаптивним принципима.

План за извођење истраживања кроз пројекат интегрисан је у наставне активности. Серија пројектантских радионица, на којим је учествовало приближно седамдесет студената архитектуре, осмишљена је и реализована током претходне две године. Резултати ових радионица, који не би били могући без креативног доприноса и искрене подршке сарадника и студената, чине окосницу истраживања. Допринос сваког појединца у овом раду је назначен у даљем тексту.

## **Генерална структура докторске дисертације**

Структуру планираног рада чине три основне целине: (1) *Увод*, (2) *Приказ и интерпретација резултата истраживања* и (3) *Закључци и препоруке*. На крају рада налазе се библиографски подаци.



**Увод** садржи преглед који даје увид у постојеће теорије и ставове о теми рада (претходна анализа информација о предмету и проблему истраживања), објашњење предмета и проблема истраживања, излагање циљева и задатка научног рада, основне научне хипотезе и податке о методолошком приступу, примењеним методама и поступцима, као и процену научне оправданости и очекиваних резултата истраживања.

Средишњи део рада - **Приказ и интерпретација резултата истраживања**, састоји се из два дела. Први део је конципиран као преглед стратегија и техника моделовања у архитектонском пројектовању које посредно утичу на поставку истраживања кроз пројекат. У другом делу, који је експерименталног карактера, врши се провера постављене хипотезе истраживањем кроз пројекат путем реализације серије прототипских модела.

**Први део** истраживања чине три главе. **Прва глава** приказује улогу аналогног модела у процесу архитектонског пројектовања. Прво поглавље се бави идентификацијом и истраживањем улоге просторног модела у процесу архитектонског пројектовања. Друго поглавље истражује аналогне аспекте моделовања у архитектонском пројектовању. Треће поглавље приказује механичке аспекте моделовања у архитектонском пројектовању. Четврто поглавље истражује темпоралне аспекте моделовања у архитектонском пројектовању. Пето поглавље приказује преглед релевантних стратегија пројектовања уз примену модела које одликују аналогни, механички и темпорални аспекти. **Друга глава** се бави разјашњењем улоге перформативног модела и симулације у архитектонском пројектовању. Прво поглавље појашњава појам перформанси у архитектонском пројектовању. Друго поглавље идентификује предности параметарски заснованог моделовања у архитектонском пројектовању. Треће поглавље појашњава принципе моделовања путем генетских алгоритама. Четврто поглавље појашњава принципе моделовања путем наменског програмирања и употребе компјутерских језика. Пето поглавље приказује преглед релевантних истраживања у области алгоритамошког моделовања физичких и материјалних процеса. Шесто поглавље приказује епистемолошко разјашњење улоге симулације. **Трећа глава** испитује и систематизује сазнања о улози прототипских модела. Прво поглавље даје појашњене улоге прототипа у итеративној структури процеса пројектовања. Друго поглавље бележи и

идентификује видове примене прототипских модела у истраживању и пракси. Треће поглавље пружа преглед проблема у истраживању путем израде прототипских модела. Четврто поглавље повезује развој прототипског моделовања са применом система за рачунарски помогнуто пројектовање (*Computer Aided Design CAD*) и рачунарски помогнуту производњу (*Computer Aided Manufacturing CAM*).

Други део бележи резултате истраживања кроз пројекат путем итеративно структурираног процеса. **Четврта глава** приказује поставку истраживања кроз пројекат. Прво поглавље описује полазиште истраживања кроз пројекат, и даје разјашњење теоријског модела „Поље“, који је поставио амерички архитекта и теоретичар Стен Ален (Stan Allen, 1997) и теоријског модела „Мрежа“, које је представио новозеландски теоретичар Марк Вигли (Marc Wigley, 2001). Друго поглавље садржи преглед релевантних карактеристика еластомера, материјала који ће бити примењен за реализацију серије прототипа услед израженог својства еластичности које их карактерише. Треће поглавље описује поставку технике моделовања која ће бити примењена за реализацију серије прототипа. Четврто поглавље описује поставку итеративне методологије пројектовања и прототипског развоја која ће бити примењена за реализацију серије прототипа. **Пета глава** приказује ток истраживања кроз пројекат, и циклус пројектовања и израде прототипских модела од еластомера. Прво поглавље описује ток и резултате пројектантске радионице „*Недоследности в.01*“, која је одржана у октобру 2010. године на Архитектонском факултету у Београду. Друго поглавље описује ток и резултате пројектантске радионице „*Недоследности в.02*“, која је одржана током јула 2011. године на Универзитету у Техерану у оквиру програма Архитектонске асоцијације (*Architectural Association*) из Лондона. Треће поглавље описује ток и резултате пројектантске радионице „*Недоследности в.03*“, која је одржана током октобра 2011. године у Галерији Озон (*Ozone*) у Београду. Четврто поглавље описује ток и резултате пројектантске радионице „*Недоследности в.04*“, која је одржана током јуна 2012. године у анексу Куле Небојша у Београду. Пето поглавље описује ток и резултате пројектантске радионице „*Недоследности в.05*“, која је одржана током септембра 2012. године на Свеучилишту у Ријечи у Хрватској. **Шеста глава** приказује анализу и интерпретацију добијених података на основу реализације серије прототипских модела од еластомера. Прво поглавље

садржи систематизацију *ex ante* анализа до којих долазимо током поставке истраживања кроз пројекат. Друго поглавље садржи систематизацију *ex post* анализа и запажања до којих долазимо током и након реализације серије прототипских модела. Треће поглавље приказује интерпретацију и анализу добијених података. Четврто поглавље приказује евалуацију добијених података и могућности за проширење поља архитектонског пројектовања кроз примену адаптивних принципа.

У **Закључцима и препорукама** се сумирају резултати истраживања, проверавају се почетне хипотезе и отварају се правци за нова истраживања.

### **Научна оправданост дисертације, очекивани резултати и практична примена резултата**

Рад се темељи на истраживачким принципима и његов значај је у приближавању проблема који још увек није довољно испитан. Истраживање полази од постојећих теорија и концепата и усмерено је ка развоју нових. Проблем истраживања се огледа у савременој архитектонској теорији. Оправданост студије се огледа у развоју методологије архитектонског пројектовања. Очекивани резултати подразумевају развој конкретних методолошких принципа који се могу применити у архитектонском пројектовању.

1. Део

**УЛОГА АНАЛОГНОГ, ПЕРФОРМАТИВНОГ И ПРОТОТИПСКОГ  
МОДЕЛА У РАЗВОЈУ АДАПТИВНИХ ПРИНЦИПА У  
АРХИТЕКТОНСКОМ ПРОЈЕКТОВАЊУ**

<b>1.0</b>	Увод.....	22
<b>1.1</b>	Разјашњење две улоге модела у архитектонском пројектовању .....	25
<b>1.2</b>	Аналогни аспекти моделовања .....	28
<b>1.3</b>	Механички аспекти моделовања.....	30
<b>1.4</b>	Просторно-темпорални аспекти моделовања .....	31
<b>1.5</b>	Преглед релевантних техника и стратегија моделовања.....	33
1.5.1	Примена аналогног модела у пројектовању Цркве Колоније Guell, Antonio Gaudi.....	35
1.5.2	Примена аналогног модела у пројектовању мембранских конструкција путем „аутономних процеса“, Frei Otto.....	40
1.5.3	Примена аналогног модела у развоју система флексибилних оплата, „Wall P“, Andrew Kudless.....	44
<b>1.6</b>	Закључак .....	50

## 1.0 Увод

У овој глави утврђујемо улогу аналогног модела у архитектури и истражујемо специфичне аспекте приступа моделовању који истовремено подржавају и условљавају развој адаптивних принципа у архитектонском пројектовању. У оквиру ове дискусије, појам аналогног моделовања има двоструко значење. Прво се односи на физичко или просторно моделовање, наспрам рачунарског или дигиталног, док се друго односи на аналогно успостављање односа између модела и предмета моделовања, и има примену у моделовању сложених појава, које је готово немогуће описати одвојено од процеса који их дефинишу.

Пажња је усмерена на разјашњење аналитичког значаја аналогног модела у оквиру итеративне структуре процеса архитектонског пројектовања. У савременој архитектонској пракси запажамо да аналитичка сврха архитектонског модела постаје све значајнија, а технике моделовања услед експериментално оријентисаног карактера попримају разичите и неочекиване облике. Као резултат видимо појаву сложених модела, које на први поглед не можемо повезати са обликом и формом неке грађевине, што указује на потребу за испитивањем и организацијом сазнања о новим видовима моделовања у архитектури. Паралелно, запажамо потребу за ревизијом успостављених токова и методолошких одредница у архитектонском пројектовању, које су сада условљене развојем нових и аналитичких радних средстава. У оквиру дискусије о улози модела у архитектонском пројектовању, размотрићемо питање експериментално оријентисаног приступа у архитектури, односно да ли је могуће приступити концепцији и реализацији архитектонских пројеката као једном научном експерименту који увек покрећемо од самог почетка (Krantz, 1987) и да ли је традиционално прихваћени хеуристички приступ у архитектонском пројектовању, који се темељи на интуитивној и искуственој спознаји, могуће унапредити путем укрштања са научном методологијом и развојем истраживачког потенцијала архитектонског пројектовања.

На основу идентификације аналогних, механичких и темпоралних аспеката архитектонског моделовања, врши се анализа релевантних стратегија која обухвата технике које су развијали шпански архитекта Антонио Гауди (Antonio

Gaudi) почетком двадесетог века, приликом пројектовања цркве Колоније Гуељ; Фреј Ото (Frei Otto), немачки инжењер и оснивач Института за лаке конструкције Универзитета у Штутгарту (*Institut für leichte Flächentragwerke Universität Stuttgart*), током друге половине двадесетог века у пројектовању мембранских конструкција, и савремени амерички архитекта и истраживач Ендрју Кадлес (Andrew Kudless), који развија систем флексибилних оплата. Истраживање нема претензије да успостави нову класификацију модела у архитектонском пројектовању, већ да кроз преглед наведених стратегија идентификује, опише и испита аналогне, механичке и темпоралне аспекте као окоснице развоја специфичне технике моделовања, чија се поставка и провера врше у оквиру истраживања кроз пројекат, које ће бити документовано у другом делу ове дисертације.

Аналогни аспекти моделовања, заједно са механичким и темпоралним, идентификовани су изван оквира области архитектонског пројектовања, у научним дисциплинама геологије, астрологије, метеорологије и физиологије, а потом су разматрани у оквирима техника архитектонског моделовања које се заснивају на примени просторних или физичких модела. Међутим, ова глава се такође бави препознавањем значаја ова три аспекта у развоју нових техника моделовања које се заснивају на примени дигитално заснованих технологија. Приказ свих модела у оквиру ове дискусије, допуњен је прегледом могућности унапређења примењених техника моделовања путем њиховог превођења у дигитални облик. Тако један од основних задатака овог научног рада чини испитивање приближавања физичких техника моделовања и техника које су засноване на примени рачунара?

На основу анализе релевантних примера истражујемо значај непосредног рада са градивним материјалом у експерименталним техникама просторног или физичког моделовања. Фреј Ото се у великој мери ослањао на експериментисање путем просторних или физичких модела ради истраживања „аутономних процеса формације“, односно процеса који се одвијају самостално према законима физике и хемије, и резултирају стварањем форме. На основу Отове стратегије моделовања, дискутујемо о значају физичког аналогног моделовања у проширивању поља деловања у архитектонском пројектовању, путем развијања могућности за непосредно укључивање карактеристика градивног материјала и

утицаја природних закона у процес концепције архитектонског пројекта. Затим разматрамо принципе развоја технике моделовања просторних организација, структура и окружења, која омогућава непосредну повезаност и бољу синхронизацију између геометријске логике са једне стране, и понашања материјала и утицаја из окружења са друге, чија ће поставка и провера бити извршена у оквиру истраживања кроз пројекат, што ће бити документовано у другом делу ове дисертације.



## 1.1 Разјашњење две улоге модела у архитектонском пројектовању

Питања којима покрећемо дискусију о улози модела у архитектонском пројектовању су једноставна и гласе: Зашто се производе модели у архитектури и да ли је архитектонско пројектовање замисливо без модела? У пракси архитектонског пројектовања, под моделовањем подразумевамо производњу макете, умањене представе објекта који је предмет изучавања, у циљу приближавања једног или више аспеката архитектонског пројекта. Недвосмислено, примена оваквог медијума је вишеструко оправдана и заузима важно место у процесу развоја архитектонских концепција. Међутим природа овакве улоге подразумева дескриптивно значење и првенствено обухвата потребу за визуализацијом пројектованог простора. У оквиру овог научног рада истражујемо различито разумевање улоге архитектонског модела, које је експериментално оријентисано, које је у својој бити аналитичко и односи се на потребу спровођења релевантних истраживања у оквиру самог процеса пројектовања. Уз развој дигиталних технологија за производњу и обраду информација, увећане су и могућности спровођења испитивања током процеса архитектонског пројектовања. У савременој архитектонској пракси је запажено да аналитичка сврха архитектонског модела постаје значајнија, а технике моделовања услед експериментално оријентисаног карактера попримају различите и неочекиване облике. Као резултат видимо појаву сложених модела, које на први поглед не можемо повезати са обликом и формом неке грађевине, што указује на потребу за испитивањем и организацијом сазнања о новим видовима моделовања у архитектури. Паралелно, запажамо потребу за ревизијом успостављених токова и методолошких одредница у архитектонском пројектовању, које су сада условљене развојем нових и аналитичких радних средстава. У својој књизи „Прекретнице у градњи“ (*Wendepunkt im Bauen*), немачки архитекта Конрад Вахсман (Konrad Wachsmann, 1959), познат по свом раду на развоју система просторних конструкција, предлаже да архитектонске анализе не би требало да се фокусирају на саме грађевине, већ на све оно што је утицало на начин на који су оне направљене, односно на пројекте, технике, материјале и машине; и сматра да би нове методе едукације и истраживања требало да се развијају са оваквом идејом“ (Wachsmann, 1959). У складу са Вахсмановим становиштем о конститутивним елементима прекретница у

архитектури, један од могућих начина сагледавања промена у савременој архитектури је управо онај кроз анализу алата који налазе примену у самом процесу пројектовања, односно кроз боље разумевање савремене трансформације и проширење улоге архитектонског модела у процесу пројектовања.

У научним дисциплинама, моделовање је део емпиријског процеса, који се заснива на примени истраживачке методологије, систематском спровођењу тестова и документовању постигнутих резултата. Свако емпиријско тестирање почива на мерењу, бројању, упоређивању и анализирању података. Насупрот *a priori* резонувању, емпиризам се заснива на чињеницама и провери сваке теорије или хипотезе пре него што се она прогласи прихваћеном или валидном. Свака научна дисциплина развија сопствене технике моделовања помоћу којих се подаци из реалног света апстрахују, а затим артикулишу како би могли бити у служби изучавања релевантних предмета или проблема. У оквиру дискусије о улози модела у архитектонском пројектовању, размотрићемо да ли је могуће приступити концепцији и реализацији архитектонских пројеката као једном научном експерименту који увек покрећемо од самог почетка (Крантз, 1987) и да ли је традиционално прихваћени хеуристички приступ у архитектонском пројектовању, а који се темељи на интуитивној и искуственој спознаји, могуће унапредити путем укрштања са научном методологијом и развојем истраживачког потенцијала архитектонског пројектовања.

Генерална класификација научних модела (Klaasen, 2005) прави разлику између три врсте модела које чине:

- Истраживачки модели који теже да одговоре на питања која почињу са „Како?“,
- дескриптивни модели који теже да одговоре на питања која почињу са „Шта?“,
- експликативни модели који теже да одговоре на питања која почињу са „Зашто и због чега?“.

Две улоге модела у архитектонском пројектовању, које су идентификоване у првом параграфу, могу се упоредити са оваквом класификацијом научних модела. Дескриптивни и експликативни научни модели одговарају моделима чија сврха у архитектонском пројектовању тежи да опише и појасни аспекте пројекта, док истраживачки научни модели одговарају моделима које смо означили као

аналитичке и чија сврха се односи на спровођење испитивања током процеса архитектонског пројектовања. Међутим, архитектонски модели су у служби пројектовања - чина који је по својој природи усредсређен на стварање и заснива се на испитивању које се односи на појаве које ће се тек реализовати у будућности. Сва мерења и анализе у оквиру процеса пројектантског моделовања се спроводе са крајњим циљем који се огледа у реализацији тог модела, односно архитектонског пројекта. Управо је зато потребно испитати видове моделовања који у архитектури омогућавају интеграцију процеса евалуације, који је својствен свим емпиријским дисциплинама, у оквиру стваралачког процеса.

Временска разлика између концепције и реализације архитектонског пројекта оставља могућност адаптације или континуалног усавршавања сâмог модела током процеса пројектовања. Све информације добијене путем спровођења тестова, као и сва сазнања стечена на основу пројектантског модела, могу се употребити за измену постојећег или стварање новог модела. У уводном делу дисертације који се бави анализом постојећих информација о предмету истраживања, наведене су позиције француског филозофа Жила Делеза (Gill Deleuze, 1994) који је у својој књизи „Разлика и понављање“ (*Difference and Repetition*), идентификовао способност одређене форме да се манифестује кроз вишеструки број физичких проба или инстанци. Кроз концепт „дивергентне актуелизације“ Делез указује да дистинкција између могућег и стварног, омогућава да једна физичка форма буде испољена путем низа сопствених манифестација (Делеузе, 1994). У контексту архитектонског пројектовања, тежња за обухватањем промена и увођењем временске компоненте у процес концепције архитектонске форме, значајно утиче на конституцију нових пројектантских алата и техника. У књизи „Анимирана форма“ (*Animate Form*), Грег Лин (Greg Lynn, 1999) објављује резултате истраживања еволуеутивног приступа обликовању и указује на потребу за систематским обухватањем времена и покрета у оквиру дефиниције облика. Линов приступ обухвата примену тополошки дефинисаних форми, које су засноване на векторским принципима и које се могу адаптирати према формативном утицају спољних сила (Lynn, 1999). У оквиру ове главе покушаћемо да разјаснимо појам променљивости архитектског модела, кроз разматрање физичких техника моделовања. У наредној глави, покушаћемо да разјаснимо потребу за развојем наменских алата у архитектонском пројектовању,

који се заснивају на примени алгоритамске логике ради успостављања релација између модела и његовог окружења. У закључној глави првог дела ове дисертације, покушаћемо да разјаснимо неке од основних принципа експериментално оријентисаног приступа у архитектонском пројектовању, разматрањем могућности за непосредно укључивање чина евалуације у сâм процес архитектонског пројектовања.

Оквире овог научног рада одређују претпоставке о развоју методолошких могућности за интеграцију временске компоненте у токове концепције и реализације архитектонских пројеката, као и о развоју техника и алата који омогућавају артикулисану и континуалну промену архитектонске форме током процеса архитектонског пројектовања. На овим претпоставкама заснована је потреба за истраживањем улоге модела у архитектонском пројектовању која омогућава структуру процеса пројектовања у виду процеса адаптације, односно омогућава континуалну промену архитектонске форме током архитектонског пројектовања. Појашњавање улоге просторних или физичких модела у развоју адаптивних принципа и итеративне структуре процеса архитектонског пројектовања, према потреби за интеграцијом временске компоненте и обухватањем континуалних промена у оквирима архитектонског пројектовања, започиње идентификацијом и разматрањем видова моделовања који омогућавају адаптивност, и обухватају аналогне, механичке и темпоралне аспекте архитектонског модела.

## 1.2 Аналогни аспекти моделовања

Аналогија представља вид когнитивног процеса. У лингвистици се употребљава ради појашњавања једног феномена кроз успостављање референце са неком другом појавом. У математици се односи на формулисање изоморфног односа између две структуре или мапирање које указује на истоветности у структури два објекта или процеса. У претходном поглављу смо указали да моделовање у научним дисциплинама чини процес током кога је објекат из реалног света представљен у свом симплификованом шематском и апстрактном смислу или је замењен другим објектом, ради његовог проучавања. Научни модели по својој дефиницији функционишу паралелно или аналогно са својим

оригиналима, предметима или појавама које представљају, и то на начин који је примењив у лабораторијским условима. У истраживањима емпиријског карактера, аналогни принципи се такође примењују у моделовању сложених појава, које је готово немогуће описати раздвојено од процеса који их дефинишу.

Пример примене аналогног модела налазимо у геологији, науци која са архитектуром дели заједнички интерес за морфологију и бави се изучавањем грађе тла и процеса који стоје иза геолошких формација, као што су планине и котлине. Геолошки модел се често састоји од предодређене количине грануларног материјала, попут песка или ситног шљунка, чија гранулација и густина одговарају различитим слојевима тла, и механизма за апликацију сила који замењује геолошке утицаје. Карактеристике различитих слојева тла које су предмет проучавања имају утицај на избор материјала који се користе у моделу. Такође, код оваквих модела, у разматрање се укључује и деловање свих релевантних закона физике, попут сила гравитације, трења или еластичности. Карактеристике материјала тла и утицај великог броја природних закона имају обликовни утицај у процесима које геолошки модели описују. Без укључивања оваквих информација у ток физичког моделовања, било би готово немогуће описати резултате геолошких процеса. У периоду који је претходио примени рачунарских система у геологији, аналогни модели су имали широку примену као вид симулације настанка сеизмичких формација, којима није било могуће приступити и које није било могуће изучавати на други начин. Овакви модели генерисали су квантитативне и геометријске информације о геолошким структурама, и примењивали су се у изучавању структура које није било могуће визуелизовати на други начин. Уместо једне и коначне форме, геолошки модели приказују читав процес развоја и омогућавају увид у морфолошку историју сложених структура.

У контексту архитектонског пројектовања, и у оквиру теоретског разјашњења настанка рачунарски заснованих система за архитектонско пројектовање, Виљем Мичел (William Mitchell, 1975) наводи класификацију која се састоји од три прихваћена начина моделовања у архитектури. Један од њих је и аналогно моделовање према коме се за потребе изучавања или архитектонског пројектовања примењује метод у коме је једна група својстава употребљена да би представила другу аналогну групу својстава (Mitchell, 1975). У архитектури, као и

у геологији, употреба просторних или физичких модела омогућава примену једноставних техника у експерименталном и истраживачком раду. Разлози за продубљивање примене аналогног моделовања у архитектонском пројектовању се налазе у остваривању могућности за укључивање карактеристика градивног материјала и утицаја природних закона у процес концепције сложених просторних организација, структура и окружења. У даљем току истраживања наставићемо да испитујемо да ли путем укључивања својства материјала и природних закона, аналогни приступ у моделовању може донети искорак у односу на општеприхваћене принципе у пракси архитектонског пројектовања који се првенствено свде на примену геометријске логике у организацији простора.

### 1.3 Механички аспекти моделовања

Механички модели, такође функционишу аналогно са појавом коју описују. Међутим, њихова основна улога односи се на симулацију механичких карактеристика посматраног проблема, који се првенствено односе на промене које настају кретањем предмета изучавања. Специфично је да оваква представа реалности не мора бити изведена у некој одређеној размери јер се евалуација врши путем података добијених кроз одвијање механичких процеса.

Један од најпознатијих примера механичког модела је хеликоцентрични модел који има примену у изучавању соларних система и описује циклично кретање планета око сунца које се налази у центру (Klaasen, 2005). На основу овог механизма стиче се преглед односа између елемената који чине један кохерентан систем. Модел приказује промене растојања и међусобно условљене релације елемената, али истовремено занемарује њихове облике, димензије и материјалне карактеристике.

У контексту архитектонског пројектовања, укључивање механичких аспеката у оквиру архитектонског модела омогућава сагледавање променљивости предмета моделовања. Потреба за продубљивањем разумевања могућности примене механичких модела у архитектонском пројектовању односи се на развој способности пројектовања и планирања процеса који се за узврат могу манифестовати у виду физичког кретања и промена просторних организација,

структура и окружења. Истовремено, испитивање механичких модела повезујемо са потребом за континуалном променом архитектонске форме током процеса пројектовања. У складу са идентификованим оквирима овог рада, током даљег истраживања наставићемо да испитујемо могућу примену механичких аспеката у оквирима архитектонског моделовања.

#### 1.4 Просторно-темпорални аспекти моделовања

Просторно-темпорални модели омогућавају прикупљање информација у времену једнако као и у простору. Овакви модели генеришу променљиве податке на основу улазних информација које се мењају током времена. Попут механичких модела, темпорални модели нису условљени размером. Примену проналазе у проучавању појава које су динамичне и могу се представити једино путем сагледавања одговарајућег временског периода.

Пример просторно-темпоралног модела је метеоролошки модел који се заснива на нумеричкој прогнози и користи математичке формулације процеса у атмосфери за генерисање метеоролошких информација о будућем стању атмосфере, односно за предвиђање временских прилика. Историја нумеричке прогнозе времена почиње у двадесетом веку. Међутим, тек током педесетих година прошлог века, уз примену компјутера су направљене прве функционалне метеоролошке прогнозе. Временом се техника нумеричке прогнозе у метеорологији усложњава и постаје прецизнија путем обухватања већег броја процеса и улазних информација. Током шездесетих година прошлог века сачињен је први модел генералне циркулације који је комбиновано обрађивао океанске и атмосферске процесе. Током седамдесетих година, модел почиње да узима у обзир више закона физике, укључујући и термодинамику флуида. Током осамдесетих година метеоролошко моделовање се даље развија путем укључивања параметара који се односе на интеракцију атмосфере са тлом и вегетацијом.

Улазни подаци за метод нумеричке прогнозе времена чине информације прикупљене путем сензора као што су радио сонде и сателити. Математички модел се снабдева великом количином података који се обрађују према законима

физике. Познато је да атмосферски омотач чине флуиди, односно материја у течном и гасовитом стању. Циљ нумеричке прогнозе времена је дефинисање стања флуида у одређеном тренутку времена користећи се законима термодинамике. Густина и квалитет података са једне стране, као и структура модела са друге стране имају утицај на ниво тачности прогнозе. Управо због тога је прецизна прогноза могућа само за краткорочан период. Најмање грешке у мерењу температуре, брзине ветра, или другим улазним подацима, кроз модел се увећавају и дуплирају. Границом после које временска прогноза више није поуздана сматра се праг од пет дана.

У контексту архитектонског пројектовања, укључивање темпоралних аспеката омогућава боље сагледавање променљивог односа између предмета моделовања и његовог окружења. Потреба за продубљивањем примене темпоралних модела у архитектонском пројектовању се односи на могућност пројектовања према променљивим утицајима окружења или потребама корисника. У даљем току истраживања наставићемо да испитујемо могућу примену темпоралних модела у пројектовању сложених просторних организација, структура и окружења.

Са друге тачке гледишта, проблем укључивања временске компоненте у оквиру методологије архитектонског пројектовања такође није адекватно испитан у савременој архитектонској пракси и теорији. Француски социолог, Бруно Латур (Bruno Latour, 2008) супротставља овај проблем у архитектури са истраживањем које је спроводио Етјен Жил Мареј (Etienne Jules Marey) ради проучавања физиологије покрета. Мареј је конструисао „фотографски пиштољ“, справу којом је успео да детаљно забележи лет галеба у виду мноштва фотографских кадрова који одговарају низу покрета које птица направи током лета и тако стекне увид у процес који до тада није био документован и сагледан. Латур указује да у архитектури постоји управо супротна ситуација, јер грађевине које сматрамо статичним тешко повезујемо са покретом било које врсте и зато нисмо спремни да разумемо њихову променљивост. Истовремено, Латур нас опомиње да грађевине нису статичне, већ да временом застаревају, да се стално мењају и да их њихови корисници стално прилагођавају својим потребама, и наводи нас на питање: Да ли постоји средство које би у архитектонском пројектовању омогућило, потпуно супротно од Марејевог изума, континуално сагледавање промена током дугог



временског периода (Latour, Yaneva, 2008 p.82). У оквиру дискусије о просторно-темпоралним моделима, исто питање гласи: Да ли укључивање темпоралних аспеката током процес моделовања може допринети сагледавању шире и динамичке слике пројеката, које се разликује од статичне представе грађевинских објеката какву стичемо на основу архитектонских цртежа?

У контексту архитектонског пројектовања, укључивање темпоралних аспеката омогућава боље сагледавање читавог животног циклуса једног архитектонског пројекта који обухвата његову концепцију, изградњу и употребу. Британски истраживач Фил Ајерс (Phil Ayers, 2012) је недавно представио концепт под називом „Истрајно моделовање“ (*Persistent Modelling*), а који се односи на методолошке одреднице које теже да обухвате промене и укључе временску компоненту у процес архитектонског пројектовања. Ајерс сматра да се чин моделовања подједнако односи на све три фазе које фигуришу у сваком архитектонском делу, а то су: пројектовање, извођење и употреба. Он сматра да потреба за унапређењем архитектонског модела лежи у омогућавању нелинеарне прогресије и боље усаглашености између ове три фазе (Ayers, 2012). На основу прегледа различитих идеја о просторно-темпоралним аспектима моделовања, у даљем току истраживања наставићемо да испитујемо могућу примену темпоралних аспеката моделовања у приближавању и бољем усаглашавању три наведене фазе архитектонског пројекта.

### 1.5 Преглед релевантних техника и стратегија моделовања

Преглед релевантних техника и стратегија моделовања започињемо систематизацијом сазнања о аналогним, механичким и темпоралним аспектима моделовања у архитектури. На основу дискусије која је забележена у три претходна поглавља, закључујемо да аналогни, механички и темпорални модели омогућавају приступ ширем опсегу података током процеса архитектонског пројектовања, који се односе на:

- Моделовање сложених појава, које није могуће описати раздвојено од процеса који их дефинише,

- могућности за укључивање карактеристика градивног материјала и утицаја природних закона у процес концепције сложених просторних организација, структура и окружења,
- могућност симулације механичких карактеристика посматраног проблема,
- преглед односа између елемената који чине један кохерентан систем,
- сагледавање променљивости предмета моделовања,
- могућност пројектовања и планирања процеса који се за узврат могу манифестовати у виду физичког кретања и промена просторних организација, структура и окружења,
- могућност прикупљања информација у времену једнако као и у простору,
- проучавање појава које су динамичне и могу се представити једино путем сагледавања одговарајућег временског периода,
- сагледавање променљивог односа између предмета моделовања и његовог контекста,
- сагледавање читавог животног циклуса архитектонског пројекта који обухвата фазе концепције, изградње и употребе,
- укључивање временске компоненте у процес архитектонског пројектовања.

Спроведено истраживање нема претензије да успостави нову класификацију модела у архитектонском пројектовању, већ да опише и испита аналогне, механичке и темпоралне аспекте моделовања као окоснице развоја специфичне технике моделовања, која је заснована на адаптивним принципима и методолошким одредницама које имају итеративну структуру, чија ће поставка и провера бити извршене у оквиру истраживања кроз пројекат, које ће бити документовано у другом делу ове дисертације.

У оквиру прегледа релевантних техника и стратегија моделовања, који следи, задржавамо се на просторним или физичким моделима. Аналогни, механички и темпорални аспекти моделовања су идентификовани у оквирима физичких техника моделовања. Међутим, у оквиру овог прегледа се такође бавимо препознавањем значаја ова три аспекта у развоју нових техника моделовања које се заснивају на примени рачунарских технологија. Приказ свих

модела у оквиру ове дискусије, допуњен је прегледом могућности унапређења примењених техника моделовања путем њиховог превођења у дигитални облик. Испитивање приближавања физичких техника моделовања и техника које су засноване на примени рачунара, чини један од основних задатака овог научног рада, чије извршавање ће такође бити настављено у другом делу ове дисертације. У овој глави, дискусија је усмерена на појашњене улоге физичког модела и могућности моделовања које се заснивају на примени механизма, који обухвата аналогне, механичке и темпоралне карактеристике, током процеса архитектонског пројектовања. У поглављима која следе дискутоваћемо о својствима модела који исказују потенцијал за примену адаптивних принципа у архитектонском пројектовању и могућност подржавања итеративне структуре методолошког приступа процеса пројектовања. Анализираћемо стратегије моделовања које су примењивали шпански архитекта Антонио Гауди (Antonio Gaudi) почетком двадесетог века; Фреј Ото (Frei Otto), немачки инжењер и оснивач Института за лаке конструкције Универзитета у Штутгарту (*Institut für leichte Flächentragwerke Universität Stuttgart*) током друге половине двадесетог века, и савремену праксу америчког архитекта и истраживача Ендрјуа Кадлеса (Andrew Kudless) у оквиру архитектонског студија „Материјални системи” (*Material Systems*).

### **1.5.1 Примена аналогног модела у пројектовању Цркве Колоније Guell, Antonio Gaudi**

Прва студија случаја у оквиру прегледа релевантних техника и стратегија моделовања односи се на физички модел који је Антонио Гауди користио током пројектовања цркве Колоније Гуељ. Градња саме крипте је трајала две године краће од израде модела (Tomlow, 1989). Поред Гаудија, на моделу је радио тим архитеката током периода од десет година. Модел је уништен након две деценије, током грађанског рата. Међутим 1980. године на Институту за лаке конструкције Универзитета у Штутгарту, истраживачи Рајнер Граф (Rainer Graefe) и Јос Томлоу (Jos Tomlow) су на основу постојећих фотографија спровели веродостојну реконструкцију модела која се сада налази у Музеју, Саграда Фамилиа (Sagrada Família) у Барселони. Томлоу је написао докторску дисертацију о самом моделу и нешто касније објавио књигу која документује читав ток реконструкције.

Карактеристично за овај пројекат, као и за друге Гаудијеве пројекте, јесте да не прати стилске одреднице времена у коме настаје, већ да настаје као производ истраживачки оријентисаног и експериментално заснованог рада (Huerta, 2006). На већини својих пројеката Гауди је примењивао лукове који нису својствени за европску културу (Huerta, 2006). Уместо стандардних лукова који су изведени из геометрије круга, Гауди је градио параболичке лукове, облика инвертоване ланчанице, линеарног конструктивног елемента чија геометријска дефиниција одговара кривој линији која настаје када ланац разапнемо између две тачке и дозволимо му да се закриви под дејством гравитације. Ланчанице чине веома ефикасно и једноставно конструктивно решење на основу кога viseћи каблови под сопственом тежином, заузимају геометријску конфигурацију у којој делују искључиво силе затезања и која омогућава елиминацију момената савијања и сила компресије. Инверзијом овако добијене геометрије, силе затезања се претварају у силе компресије. На овај начин, ланчаница постаје лучна носећа конструкција која захтева минимум градивног материјала.

Идеја о спровођењу конструктивне оптимизације овим путем била је и раније позната. Роберт Хук (Robert Hook) је описује 1675. године: „Инверзијом, флексибилна ланчаница постаје крута лучна конструкција“ (*as hangs the flexible line, so but inverted will stand the rigid arch*). Такође, значајно пре Гаудијеовог времена, настаје је и математичка дефиниција геометрије ланчанице. Средином деветнаестог века, успостављена је дефиниција ланчанице путем статичког прорачуна, док је 1853. године Виларсо (Yvon Villarceau) егзактне математичке принципе применио на пројекту моста (Huerta, 2006). Гауди је до оваквих сазнања вероватно дошао током свог школовања и на располагању је имао избор пројектантских алата који су му омогућавали контролу над статичким и геометријским аспектима пројекта. Међутим, Гауди се ипак одлучује за примену просторног модела. Модел је употребљен за разумевање статичких карактеристика, али је превасходно имао улогу у процесу истраживања обликовних могућности према Гаудијевом интуитивном нахођењу. Модел цркве Колоније Гуељ је први забележени случај где је аналогни модел пронашао непосредну примену у концепцији архитектонске форме. Применом оваквог модела, Гауди је тражио начин да своје идеје претвори у физичке облике, које је могао да сагради (Giralt-Miracle, 2002).





Слика 1.5.1.1 Аналогни модел Цркве Guell, Antonio Gaoudi 1898-1908 (Huerta, 2006)

Гауди јесте истраживао геометријске конфигурације које настају као последица оптималног преноса статичких сила, а потом је њихове геометријске дефиниције примењивао у инвертованом облику, што је у статичком смислу узроковало алтерацију између сила затезања и компресије. Међутим, у оквиру дискусије о улози модела у развоју адаптивних принципа у архитектонском пројектовању, пажња није усмерена на анализу техничког решења у виду новог статичког система или оригиналног конструктивног решења, већ на употребу модела као „механизма за пројектовање“ што до тада није забележено у историји архитектуре (Collins, 1971/ Huerta, 2006). Уместо традиционалног метода пројектовања путем цртежа и прорачуна, Гауди је користио аналогни модел да би испитао низ архитектонских решења, која су увек имала повољне статичке конфигурације. Један од резултата примене оваквог аналогног модела, чини успешна интеграција конструктивних и архитектонских принципа.

Материјал који Гауди користи за израду модела има дијаметрално супротне карактеристике од материјала који конкурише за реализацију самог објекта. Еластична молекуларна структура каблова, од којих је сачињен модел, је сасвим је различита од круте хемијске структуре камена и већине других грађевинских материјала. Међутим, управо ова разлика у својствима материјала омогућава аналогно испитивање конструктивних и обликовних карактеристика објекта.

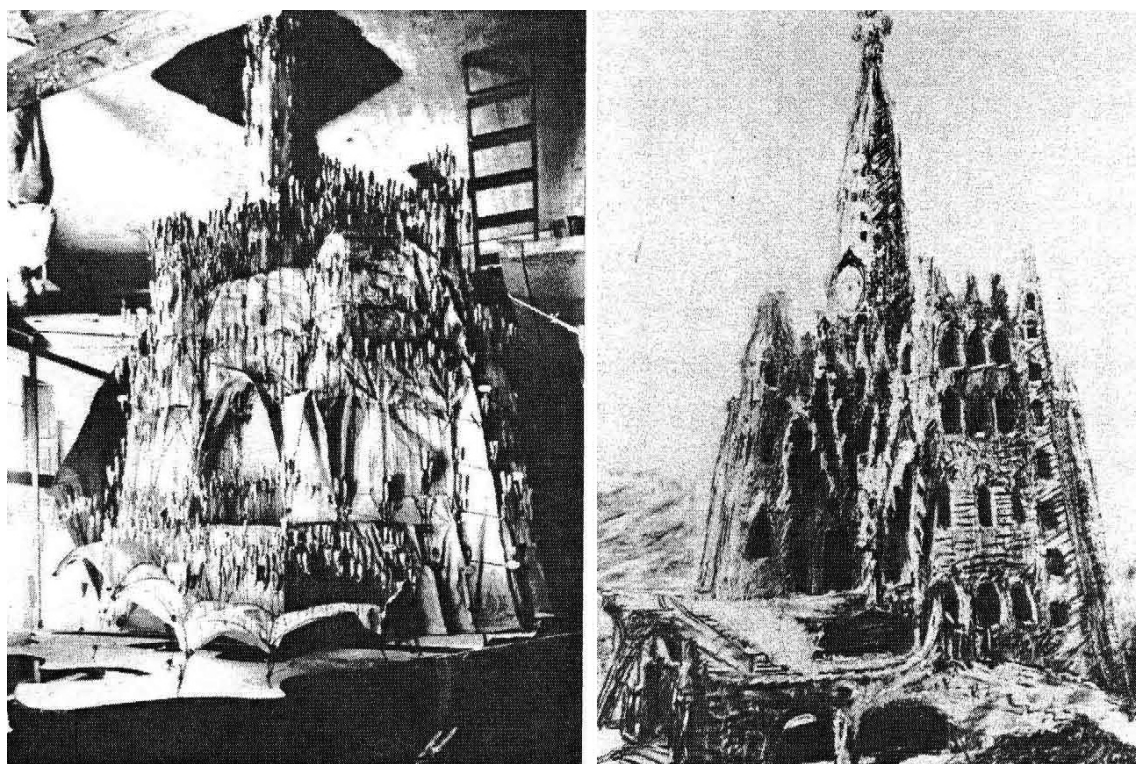
Процес моделовања био је сложен и захтеван. Габарит цркве је нацртан у размери 1:10 на дрвеној табли која је окачена на таваницу објекта, који се налазио у близини градилишта. Каблови који су оформили ланчанице били су фиксирани на позицијама носећих стубова. На овај начин линеарни елементи су описивали контуре објекта; систем ланчаница постављених у простору дефинисао је сводове објекта. Међутим, асиметрични распоред ослонаца узроковао је геометријску сложеност модела.

Гаудијев приступ се заснива на систематском истраживању и реализацији низа итеративних покушаја (Huerta, 2006). Иницијално стање модела се састоји од просторно распоређене скупине висећих каблова, док се свака итерација модела заснива на примени предвиђеног оптерећења у виду великог броја тегова који су окачени о каблове или промени у распореду ослонаца или промени дужине



каблова. Свака од варијација у броју и диспозицији тегова, распореду ослонаца и дужини каблова, истовремено проузрокује прилагођавање геометријске конфигурације како би се модел поново нашао у стању статичке равнотеже и подразумева одређене обликовне промене.

Ток израде модела је доследно документован. Након усвајања финалног решења, непосредно са модела су преузете мере које су употребљене за израду пројектне документације. Ортогонална пројекција структуре је пренета са модела на цртеже уз помоћ огледала које је постављено испод viseћег модела. Инвертоване фотографије модела су примењене као подлоге за цртеже који описују волуметријске студије. На фотографијама које су направљене током израде модела, видимо платно које прекрива каблове како би се форма објекта боље оцртала (Huerta, 2006).



Слика 1.5.1.2 Паралелни приказ фотографија модела и цртежа Цркве Guell, Antonio Gaudi 1898-1908 (Huerta, 2006)

Међутим, овакав процес преузимања мера са модела је био веома компликован и непоуздан. Сама израда физичког модела је такође била проблематична пошто је захтевала пуно времена и вештине. Као потврду, видимо да Гауди није употребљавао овај метод на другим пројектима (Killian, 2005). На основу оваквих запажања, и са циљем да превазиђе наведене недостатке

Гаудијевог физичког модела, Аксел Килиан (Axel Killian, 2005), истраживач са Института за технологију у Масачусетсу (Massachusetts Institute of Technology), направио је дигиталну верзију модела, односно симулацију процеса који је Антонио Гауди користио током пројектовања цркве Колоније Гуељ. Килианов рачунарски модел омогућава веродостојну симулацију физичких карактеристика материјала и утицаја природних закона током процеса моделовања висећих конструкција по принципу ланчаница, што омогућава значајно економичнији процес спровођења тестова и могућност аутоматизоване и прецизне екстракције информација са самог модела. Значај Килиановог модела, за ову дискусију, наравно није у омогућавању брзе и ефикасне реплике Гаудијевог пројекта за Цркву Колоније Гуељ, већ у могућности превођења технике физичког моделовања, са свим својим сложеностима које обухватају карактеристике материјала и утицаје закона физике и хемије, у знатно ефикаснију технику засновану на примени дигиталне технологије.

Релевантност Гаудијевог подухвата за разматрање стратешке примене модела у архитектонском пројектовању, односи се на његов експериментални карактер и аналогну улогу модела у виду механизма путем кога је реализована архитектонска форма, каква не би могла бити осмишљена, описана или саграђена уз традиционалне пројектантске методе и технике рада које се заснивају на примени цртежа и репрезентативних модела.

### **1.5.2 Примена аналогног модела у пројектовању мембранских конструкција путем „аутономних процеса“, Frei Otto**

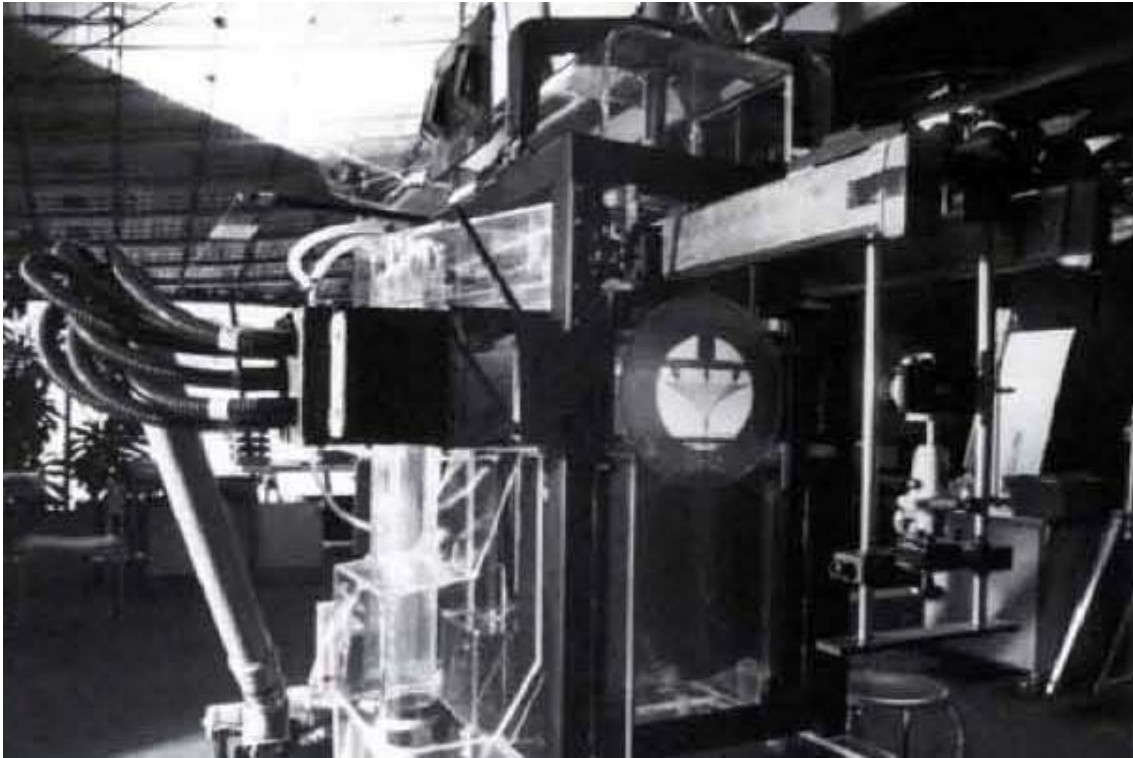
Друга студија случаја у оквиру прегледа релевантних техника и стратегија моделовања обухвата физичке моделе које је Фреј Ото користио током пројектовања серије лакних конструкција, сачињених од текстилних материјала које карактерише флексибилност и еластичност. Однос између статичких сила и геометрије код мембранских опни и других конструкција од текстилних материјала, знатно је израженији него што је то случај са структурама које настају употребом крутих грађевинских материјали, као што су дрво, бетон или челик. Геометрија конструкција од еластичног материјала настаје као непосредна последица преношења статичких сила кроз њихову структуру. Управо због такве



природе лаких конструкција, улога модела у њиховој концепцији и планирању њихове изградње има вишеструки значај.

Ото је развијао принципе пројектовања мембранских опни и текстилних конструкција путем примене аналогних модела који су сачињени од сапунске пене, добијене мешавином кухињског детерџента и дестиловане воде. Облик који заузима сапуница је производ деловања статичких сила међу њеним молекулима. Њени молекули теже да заузму просторну конфигурацију која омогућава уједначену дистрибуцију напонских сила. Истовремено, услед такве молекуларне структуре, сапунска опна тежи да заузме форму чију геометрију дефинише најмања могућа површина, која је неопходна да обухвати одређену запремину, због чега такве структуре носе назив „минималне површи“ (Barthel, 2005). Ефикасност овог модела се са једне стране огледа у употреби веома мале количине градивног материјала ради постизања конструктивне стабилности, јер опна сапунице има занемарљиво малу дебљину у односу на свој распон, а са друге стране, у формирању најмање могуће контактне површине између оног што је изван и онога што је унутар те структуре. У намери да аналогним путем примени ова својства у грађевинарству, Фреј Ото је успоставио процедуру којом је успешно преносио геометријске карактеристике са процеса формације сапунских мехура на конструктивну и обликовну логику текстилних структура.

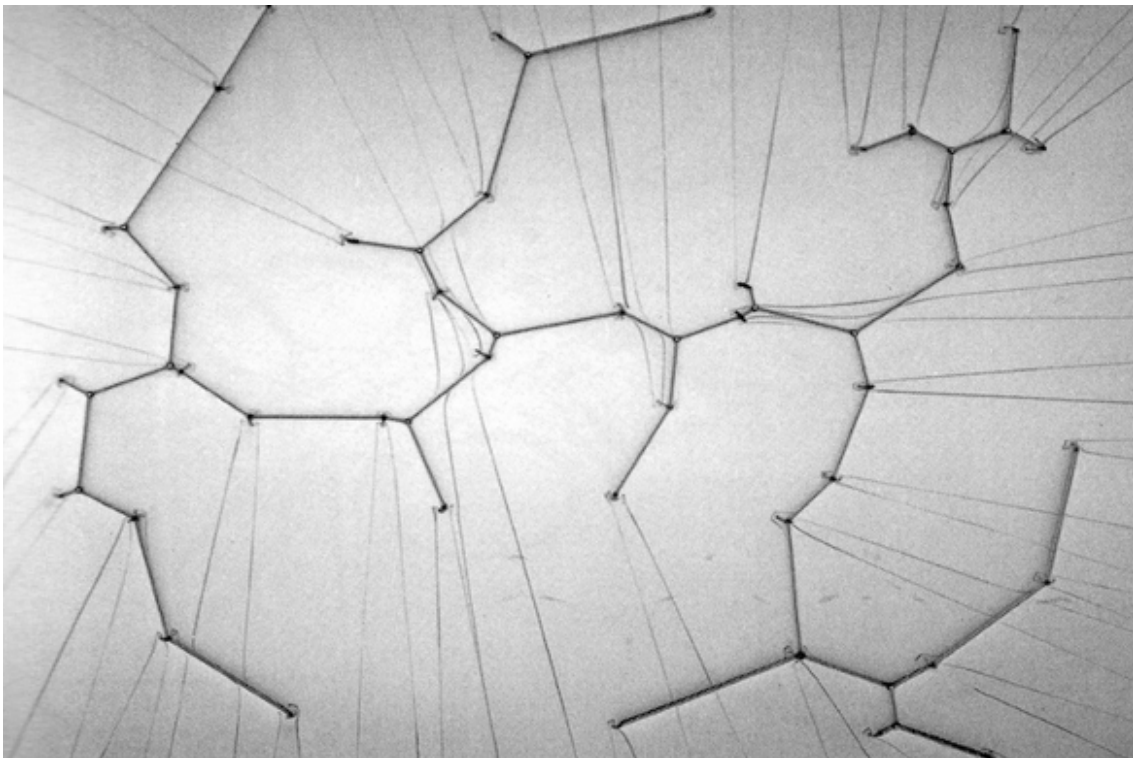
Техника моделовања се састоји од два подједнако важна сегмента. Први се односи на формирање сапунске мембране према одређеном конструктивном оквиру. Други се односи на преношење геометријских информација, са сапунске мембране на цртеже. На Институту у Штутгарту је конструисана машина за производњу мембрана од сапунске пене и снимање геометријских дефиниција насталих површина. Након формирања мембране, применом светлосног извора са паралелним зрацима прављене су ортогоналне пројекције које су се употребљавале за формирање пројектантске документације (Barthel, 2005).



Слика 1.5.2.1 Машина за производњу и геометријску дефиницију мембрана од сапунске пене на Институту за лаке конструкције у Штутгарту (*Otto, Rasch, 1996*)

Експеримент са сапунском мембраном се ослања на карактеристике самог материјала и молекуларне процесе који се у њему одвијају ради постизања оптималне геометријске конфигурације. Фреј Ото развија тезу да идеалне форме настају саме од себе, као последица „аутономних процеса формације“. Овакви процеси су они који у експерименталним и задатим условима и према научно прихваћеним законима физике доводе до стварања видљиве форме и структуре. Они се одвијају без људске интервенције и зато се називају аутономним (Barthel, 2005). Овакви процеси имају заједничке карактеристике са биолошким процесима, одвијају се према законима физике и хемије, током одређеног временског периода. Ото је током читаве своје каријере развијао интересовања за природне структуре и живе системе због њихове ефикасности. Идентификовао је принцип „минималних конструкција“ према коме се материјализација органских структура састоји само од неопходног минимума градивног материјала. До таквих форми, живи организми долазе кроз процес оптимизације, односно вид адаптације током кога се постепено редукује количина материје неопходна за њихову стабилност.

Ото је проучавао „обликовне процесе“ (*form-finding processes*) у природи и тако стечено знање је употребљавао у пројектовању и градњи великог броја структура. Већину експеримената није спроводио према потребама грађевинских пројеката, већ ради тестирања одређених конструктивних принципа. Тако је стварао каталог универзалних решења која су могла бити аплицирана према одговарајућим архитектонским стратегијама (Meisner, 2005). Спроводио је различита истраживања на пољу оптимизације конструктивних система међу којима се налази и испитивање статичких могућности структура које преносе оптерећење по принципу гранања и других система чија је физичка структура истоветна са њиховим статичким дијаграмом.



Слика 1.5.2.2 Систем минималних путања утврђен на основу физичког модела, Frei Otto 1962 (Barthel, 2005)

На могућност успостављања геометријске конфигурације према утицају статичких сила путем примене аналогног модела је указано и у претходном поглављу, на примеру Гаудијеовог рада. У овом поглављу идентификујемо технику моделовања која се заснива на могућностима примене механичких аспеката у виду аутономних формативних процеса. Као пример, наводимо Отов модел који је намењен успостављању најкраће могуће трајекторије између скупа тачака. Техника моделовања се, као и у претходно описаној студији мембранских конструкција, заснива на примени пројектантског механизма, који се састоји од

стаклене плоче постављене изнад посуде са раствором сапунице и одређеног броја игала које додирују плочу са доње стране. Након спуштања нивоа раствора, опна од сапунске пене се формира на врховима игала, између стакла и површине раствора. Из претходне студије случаја знамо да молекуларна структура сапунице тежи да заузме конфигурацију са минималном површином. У овом експерименту, истоветно понашање материје, у ортогоналној пројекцији, оцртава мрежу најкраћих могућих трајекторија које повезују врхове свих игала. Заједно, овакве трајекторије чине најефикаснији могући систем веза између датих тачака, чија се правилност одражава путем формирања праваца који се међусобно сустичу под углом од 120 степени (Barthel, 2005).

Решење које је утврђено путем описаног експеримента, подудара се са решењем које је изведено математичким путем. Међутим, са великим бројем тачака, овакав проблем постаје веома сложен и превише обиман за прорачун, и постаје условљен применом рачунарске технологије која је, шездесетих година када се одвијају наведени експерименти, још увек била недовољно заступљена. Многе конструкције које је осмислио Фреј Ото могу бити објашњене математичким путем, али само уз велике тешкоће и уз огроман утрошак времена. Сви његови пројекти и реализоване структуре су развијени кроз просторне или физичке моделе (Roland, 1965). Данас, педесет година касније, примена рачунарске технологије у архитектонском пројектовању омогућава брзу обраду великих количина података, чиме су створени услови за боље разумевање сложених природних процеса и њихову примену у концепцији и реализацији сложених просторних организација, структура и окружења. У наредном поглављу, у оквиру дискусије о перформативном моделу, размотрићемо низ савремених истраживања, која се надовезују на рад Фреј Ота.

### **1.5.3 Примена аналогног модела у развоју система флексибилних оплата, „Wall P“, Andrew Kudless**

Трећа студија случаја у оквиру прегледа релевантних техника и стратегија моделовања односи се на прототипски модел „Зид П“ (*P Wall*), архитекте и истраживача Ендрјуа Кадлеса (Andrew Kudless, 2009), чији се експериментални рад посредно надовезује на претходно описана истраживања Гаудија и Ота, и

наставља линију истраживања која се бави аутономним процесима обликовања путем материјално заснованих испитивања. Непосредно, Кадлесов истраживачки рад на овом моделу се надовезује на експерименте у реализацији бетонских орнамената и конструкција путем примене флексибилних оплата које је шпански архитекта Мигел Фисак (Miguel Fisac) спроводио током шездесетих година прошлог века. Кадлесово истраживање се, као и Фисаково, заснива на примени два материјала, и њиховим иманентним способностима да генеришу експресивне просторне форме. Први материјал је гипс, који чини масу која се излива, а други је текстил, који има улогу еластичне оплате. Пројекат се темељи на омогућавању одвијања обликовног процеса током кога је предвиђена промена молекуларне структуре оба материјала (Kudless, 2006). Првобитна верзија модела реализована је 2006. године на Универзитету у Охају (*Ohio State University*), а затим је модел унапређиван у неколико наврата. Из практичних разлога у гипс је додат агрегат, чиме је умањена тежина ливених модула и уведено је ојачање у виду синтетичких влакана која су умањила кртоност ливених компоненти. Новија верзија, знатно већих димензија и са много већим бројем модула, направљена је 2009. године наменски за изложбу „Осећајна тела“ (*Sensate Bodies*), одржаној у Музеју модерне уметности у Сан Франциску (*San Francisco Museum of Modern Art*), у чијој се колекцији налази и данас.

Процес моделовања се заснива на примени наменски конструисаног механизма, који се састоји од постоља, које омогућава различите диспозиције ослонаца у виду типлова и дрвеног обруча преко кога се поставља текстилна оплата. Један исти механизам употребљен је за производњу свих модула који чине крајњи производ, али тако да сваки модул има свој специфичан облик. Механизам омогућава контролу обликовања сваког модула, путем ограничавања обликовног процеса који се одвија на основу понашања два материјала. Гипс се у течном стању прелива у еластичну оплату где прелази у чврсто стање. Облик сваког модула настаје када се опна деформише под утицајем тежине гипса, према ограничењима које намеће распоред типлова на постољу. Уз количину гипса и коефицијент еластичности оплате, размак између позиција ослонаца је кључан за резултујућу форму. Позиције ослонаца ограничавају истезање платна које се користи као оплата. Уколико су дрвени типлови постављени превише близу, еластично својство материјала ће бити ограничено и текстил се неће истезати. У супротном, ако су ослонци превише удаљени, платно ће се превише деформисати

и доћи ће до његовог оштећења. Након серије емпиријских тестова у којима су установљена минимална и максимална растојања између ослонаца, применом наменског програмирања сачињена је софтверска апликација која је омогућила прецизнију контролу диспозиције и броја ослонаца. На тај начин је омогућено формирање поља са различитим густинама ослонаца, чији се интензитети могу лако контролисати.



Слика 1.5.3.1 Механизам који контролише понашање два градивна материјала, платна и гипса. Прототипски модел „Wall P“, Andrew Kudless 2006-09. Кадар из филма у продукцији SFMoMA 2009. поводом изложбе „Sensate Bodies and Design“.

Пројекат се развијао кроз низ покушаја. Први одливак је имао пуно дефеката у виду набора и пукотина (Kudless, 2006). Поступно, процес је усавршаван кроз усаглашавање пројектантских намера са карактеристикама примењених материјала и са законима физике и хемије. У претходном поглављима приказани су експерименти са опном сапунског мехура и идентификована је улога унутрашњих или молекуларних сила у процесу обликовања. На истоветан начин и овај модел експлоатише утицај сложеног сплета природних закона на организацију материје. Другим речима, и ово истраживање тежи да пронађе начин да продуктивно упосли унутрашње процесе материјалних система (Kudless, 2006).



Слика 1.5.3.2 Уклањање флексибилне оплате. Прототипски модел „Wall P“, Andrew Kudless 2006-09. Кадар из филма у продукцији SFMoMA 2009. поводом изложбе „Sensate Bodies and Design“.

Експеримент је спроведен путем рада са физичким моделом у пуној размери и уз непосредан контакт са материјалом који је употребљен за реализацију модела. За разлику од савремених тенденција у области архитектонског пројектовања, које се искључиво заснивају на примени рачунарског програмирања, Ендрју Кадлес сматра да је дистанцирање од рачунарског програмирања од кључне важности за циљеве овог истраживања. „Што сам се дуже бавио рачунарским програмирањем, боље сам сагледавао потребу за основним принципима материјалности које сам препознао у раду Антонија Гаудија, Фреј Ота и других. Приметио сам да програмирање углавном решава веома сложене, али сасвим детерминисане проблеме“ (Kudless, 2011 p.99). Међутим, исти аутор тренутно ради на новој верзији модела „П“, и развоју параметарски контролисаног, дигиталног модела који укључује симулацију природних закона током обликовног процеса. Улога дигиталне симулације је да елиминира један део ризика који су везани за процес градње, тако што ће их укључити у почетну фазу архитектонског пројектовања (Kudless, 2011). Међутим, даље истраживање има сложенији задатак који се односи на стицање бољег разумевања карактеристика материјала и укључивање таквог знања у сâм процес архитектонског пројектовања.

## 1.6 Закључак

Експериментални приступ у концепцији и реализацији архитектонских пројеката се заснива на укрштању пројектантских техника са научном методологијом. Интеграција процеса евалуације у оквире стваралачког процеса, проширује поље деловања у односу на традиционално прихваћени хеуристички приступ у архитектонском пројектовању, који се темељи на интуитивној и искуственој спознаји. Истраживачки потенцијал у архитектонском пројектовању се заснива на успостављању механизма за непосредну примену сазнања која се стичу током моделовања ради адаптације модела. Управо зато улога адаптивних принципа лежи у омогућавању методолошких одредница које подржавају итеративну структуру процеса архитектонског пројектовања.

Провера наведених претпоставки биће извршена путем истраживања кроз пројекат, које је документовано у другом делу ове дисертације, и заснива се на изради серије прототипских модела. На основу наведених запажања у овој глави, једна од полазних претпоставки истраживања кроз пројекат је да се пројектантски модели могу развијати током спровођења експеримента и да зато не морају бити предодређени у свим својим аспектима. Планирано истраживање се заснива на примени модела чија се иницијална конфигурација може мењати на основу сазнања која се остварују током процеса пројектовања. Истовремено, истраживање тежи продубљивању методолошког приступа итеративном структуром која би омогућила да подаци добијени током сваког спроведеног теста утичу на измене иницијалног стања модела и реализацију нових конфигурација. У оваквом контексту, могућност континуиране измене или адаптације модела на основу информација добијених током процеса пројектовања, представља услов за остварење аналитичког карактера модела.

У овој глави се посебно бавимо разјашњењем улоге просторних или физичких модела у развоју адаптивних принципа и итеративне структуре процеса архитектонског пројектовања, које се заснива на укључивању аналогних, као и механичких и темпоралних аспеката у архитектонско моделовање. Овакве аспекте везујемо за моделовање сложених појава, које је немогуће описати одвојено од процеса који их дефинишу.



Значај просторног или физичког моделовања у архитектонском пројектовању првенствено везујемо за могућност непосредног рада са градивним материјалом и примену једноставних техника моделовања за потребе експерименталног и истраживачког рада. Улога просторног модела у развоју адаптивних принципа и итеративне структуре процеса архитектонског пројектовања идентификована је кроз могућност укључивања карактеристика градивног материјала и утицаја природних закона у процес концепције сложених просторних организација, структура и окружења. Аналогни, механички и темпорални аспекти архитектонског модела идентификовани су као окоснице развоја технике моделовања која омогућава примену адаптивних принципа у процесу архитектонског пројектовања. У оквиру прегледа релевантних стратегија моделовања, идентификован је приступ који тежи да омогући концепцију просторних форми према принципима самоорганизације материје и према процесима који одликују биолошке системе и природне структуре.

Овакве претпоставке се надовезују на становиште Мануела ДеЛанде (Manuel DeLanda, 1998), који на пољу савремене филозофије продубљује Делезове идеје путем повезивања са савременим оквирима природних наука. У свом тексту који се односи на појашњење концепта генезе форме, он тврди: „Једна од константи европске филозофије је поимање материје као инертног рецептора утицаја који долазе споља. Другим речима, генеза форме или структуре се увек заснива на средствима која превазилазе могућности материјалног супстрата. У неким случајевима, таква средства су експлицитно трансценденталне и вечне есенције, које одређују форме наметнуте јаловим материјалима. Најочигледнији пример ове теорије, је наравно, креационизам у религији, где све почиње са идејом Бога, чија се воља и заповест намећу над послушном и покорном материјом... Међутим, као што је Жил Делез (Gilles Deleuze) показао у свом раду о Спинози, нису сви европски филозофи прихватили такав став. Кроз Спинозу, Делез открива идеју према којој утицаји уплетени у генезу форме нису трансцендентни, већ иманентни у самој материји“ (DeLanda, 1998). Као илустрацију за ову тврдњу, Деланда користи управо пример молекуларне структуре сапунске опне. „Најједноставнија врста унутрашњих морфогенетских потенцијала је ендогена потреба за постизањем стабилних стања. Првобитно, таква стања материје су дефинисали научници који су изучавали понашање

материје у гасовитом стању. На пример, сферична форма мехура сапунице настаје услед интеракције међу молекулима који је сачињавају, која је по својој природи енергетски условљена да тежи стању у коме се напони у њеној површини свде на минимум. У овом случају, не поставља се питање есенције мехура сапунице кроз наметање спољних утицаја, као нека врста идеалне геометријске форме која се намеће инертној скупини молекула, већ кроз ендегену тополошку форму, односно стање у оквиру енергетских могућности ових молекула, које управља понашањем индивидуалних молекула и резултује настајањем сферичног облика“ (DeLanda 1998).

Све три студије случаја, које су приказане у првој глави, карактерише експлоатација иманентне способности материје да се самостално организује како би заузела статички стабилну конфигурацију. Најексплицитнији пример је рад Фреј Ота, који се бавио изучавањем природних структура и живих система, због њихове способности да се ефикасно прилагоде променама у окружењу. Ото је развио тезу да идеалне форме настају саме од себе, као последица „аутономних процеса формације“, процеса који се одвијају без људске интервенције и који према научно прихваћеним законима физике и хемије доводе до стварања видљиве форме. Путем експеримената са опном сапунске пене, Ото је указао на могућност експлоатације сложених процеса самосталне организације материје ради решавања конструктивних проблема. На основу приказаних техника физичког или просторног моделовања које су примењивали Ото и други истраживачи, идентификована је могућност моделовања сложених просторних организација, структура и окружења путем конципирања динамичких процеса. Извршено је разматрање развоја техника архитектонског моделовања које су способне да обухвате континуалну адаптацију форме и укључе временску компоненту у процес архитектонског пројектовања. Такође, на основу прегледа раније успостављених техника физичког или просторног моделовања, идентификована је потреба за преиспитивањем значаја геометријске логике у концепцији просторних организација. У оквиру истраживања кроз пројекат које је документовано у другом делу ове дисертације, посебно испитујемо потенцијале повезивања еластичног понашања материјала са могућностима концепције и реализације адаптивних просторних окружења.

## Глава II **Перформативни модел**

<b>2.0</b>	Увод.....	52
<b>2.1</b>	Идентификација улоге перформативног модела у развоју адаптивних принципа и итеративне структуре у процесу архитектонског пројектовања .....	53
<b>2.2</b>	Параметарско моделовање .....	58
<b>2.3</b>	Моделовање путем генетских алгоритама. ....	61
<b>2.4</b>	Моделовање путем наменског програмирања и употребе компјутерских језика .....	65
<b>2.5</b>	Преглед савремених истраживања у области алгоритамског моделовања физичких и материјалних процеса .....	69
<b>2.6</b>	Епистемолошко разјашњење улоге перформативног модела у процесу архитектонског пројектовања .....	72
<b>2.7</b>	Закључак .....	73

## 2.0 Увод

Дискусију о могућностима примене перформативних модела у концепцији просторних организација почињемо хронолошком систематизацијом сазнања о пет појмова или термина који иницијално настају у различитим научним областима попут физиологије, биологије и математике, али данас налазе примену у архитектонској теорији која указује на потребу за преиспитивањем оквира деловања у пројектантској пракси. Приказ обухвата следеће појмове: саморегулација, отворени системи, повратни токови информација, самоорганизација, и међусобно узрочни односи. Путем интерпретације наведених термина, у архитектонском контексту истражујемо могућности за реорганизацију процеса архитектонског пројектовања и проширивања поља деловања. Првенствено, наведене појмове истражујемо ради успостављања пројектантских механизма за интеграцију повратних токова информација у процес концепције просторних организација и остваривања непосреднијег и међусобно формативног односа између архитектонског пројекта и његовог окружења.

У контексту грађевинске индустрије, термин „перформанса“ означава способности грађевинских материјала и њихово понашање под променљивим утицајима као што су атмосферски или механички. Међутим, знање о перформансама материјала које се развија у области грађевинске физике, првенствено се примењује прекасно, у завршним фазама пројектовања и односи се на *post festum* улогу у избору материјала, па неретко има мању тежину од личног искуства или нахођења пројектанта. У оквиру овог научног рада, истражујемо различито разумевање термина „перформанса“ који се везује за развој пројектантских алата. Ови алати се заснивају на оперативној примени перформативних потенцијала материје и њене иманентне способности да произведе просторне организације, структуре и окружења.

Улогу перформативног модела у процесу архитектонског пројектовања утврђујемо путем истраживања специфичних видова дигиталних, односно рачунарски заснованих техника моделовања које истовремено условљавају и подржавају развој адаптивних принципа у архитектонском пројектовању. У перформативне моделе сврставамо различите облике рачунарски заснованих модела који обухватају динамичке процесе обликовања и континуалну адаптацију

предмета моделовања на основу повратних информација које настају током интеракције између модела и његовог окружења. Разјашњење улоге перформативног модела у оквиру итеративне структуре процеса архитектонског пројектовања заснива се на идентификацији и приказу техника за: асоцијативно или параметарско моделовање, моделовање путем генетских алгоритама, и моделовање путем наменског програмирања и употребе компјутерских језика. На основу систематизације сазнања о наведеним техникама моделовања, дискутујемо о значају перформативног моделовања – појма који обухвата и синтетизује аспекте сва три наведена приступа.

Епистемолошко разјашњење улоге перформативног модела у процесу архитектонског пројектовања заснивамо на компарацији са улогом сличних медија у другим дисциплинама. У друштвеним дисциплинама, симулирање се разматра као вид научног истраживања, који се разликује од моделовања, и по свом карактеру се приближава експериментисању, управо услед егзактног, непосредног и формативног утицаја информација на предмет изучавања. У области архитектонског пројектовања, овакав приступ још увек није довољно испитан. Импликације на структуру процеса архитектонског пројектовања, које се јављају услед примене симулације, нису разјашњене. Претпоставка да утицај перформанси може имати непосредан и обликовни значај током архитектонског моделовања, постаје окосница развоја специфичне технике моделовања која ће бити проверена истраживањем кроз пројекат, које је документовано у другом делу ове дисертације.

## 2.1 Идентификација улоге перформативног модела у развоју адаптивних принципа и итеративне структуре процеса архитектонског пројектовања

Према дефиницији речника Мериам-Вебстер (Merriam-Webster), придев „перформативно“ (*performative*) описује способност „перформансе“ (*performance*), или способност некога или нечега да изведе или изврши одређени чин. Превод термина „перформанса“ са енглеског на српски језик, у контексту грађевинске индустрије, означава способности грађевинских материјала и њихово понашање под одређеним утицајима, као што су атмосферски или механички. Међутим, знање о перформансама материјала, које се развија у области грађевинске физике, углавном се примењује прекасно, у завршним фазама пројектовања и односи на *post factum* улогу у избору материјала, па често има мању тежину од личног искуства или нахођења пројектанта. У оквиру овог научног рада, испитујемо различито разумевање термина „перформанса“ које се везује за развој одређених пројектантских алата и стратегија, и истражујемо да ли је путем таквих алата могуће успоставити оперативну примену перформативних способности материје у продукцији просторних организација, структура и окружења. Термин „перформативна архитектура“ (*Performative Architecture*) примењују Коларевић и Макави (Kolarevic, Makawi, 2005), како би описали емергентни тренд, који преузима идеју перформансе као водећи принцип у архитектском обликовању. Према њиховом запажању, један од најбитнијих проблема у савременом процесу архитектонског пројектовања је појава дисконтинуитета између пројектантских алата за успостављање геометрије и алата за вршење анализе. Њихова позиција покушава да превазиђе постојеће разумевање појма „перформансе“, које се заснива на дихотомији између значења појмова „догађаја“ и „мера“ у архитектури, путем приступа који подједнако обухвата оба наведена поларитета. Циљ истраживања у оквиру ове главе се надовезује на ове идеје и тежи формирању оквира за приближавање процеса геометријске концепције и аналитичке евалуације путем примене перформативног модела у архитектском пројектовању. Истовремено, истраживање тежи успостављању теоретске платформе за развој специфичне технике моделовања која ће бити испитана путем израде серије прототипских модела током другог дела овог научног рада. Питања којима покрећемо дискусију о примени

перформативних модела у архитектонском пројектовању гласе: Шта су перформансе изграђеног окружења? Да ли се оне могу измерити и како се примењују у оквиру архитектонског пројектовања?

Разумевање перформанси изграђеног окружења данас можемо поставити на веома различите начине. Најшире речено, сви очекујемо да изграђени објекти буду усклађени са различитим и променљивим потребама својих корисника, да буду економично изграђени, погодни за одржавање, енергетски ефикасни, безбедни и естетски угодни. Међутим, оваква очекивања су сложена и састоје се од великог броја међусобно повезаних утицаја које није лако ускладити током архитектонског пројектовања. Иако могу бити прецизно евалуиране и изражене квантитативним путем, вредности које одређују перформансе, као што су температура, влажност, интензитет светлости или звука, у традиционално успостављеном току архитектонског пројектовања, најчешће се примењују само за накнадну рационализацију или делимичну корекцију архитектонског пројекта. Предмет истраживања у овој глави се односи на механизме за непосредно и формативно укључивање повратних информација, насталих путем евалуације модела, у сâм процес архитектонског моделовања.

Под перформативним моделима подразумевамо различите облике архитектонских модела који обухватају динамичке процесе обликовања и континуалну адаптацију модела на основу повратних информација које настају евалуацијом перформанси тог модела. Овакав приступ се заснива на две важне претпоставке. Прва је стална интеракција модела са окружењем, а друга је способност модела да се прилагоди на основу повратних информација које настају путем такве интеракције. У овом поглављу, дискутујемо о развоју комуникативног капацитета архитектонског модела и механизма за реорганизацију процеса архитектонског пројектовања, ради боље асимилације повратних информација и остваривања међусобно формативног односа између модела и његовог окружења. Развој идеја о перформативном моделовању приказан је путем хронолошки организованог разјашњења термина и појмова који иницијално настају у различитим научним областима попут физиологије, биологије и математике, али данас налазе примену у архитектонском пројектовању. Приказ обухвата следеће појмове: саморегулација, отворени

системи, повратни токови информација, самоорганизација, и међусобно узрочни односи.

Француски физиолог Клод Бернар (Claude Bernard), у деветнаестом веку поставља принцип „унутрашњег окружења“ (*milieu intérieur*) на основу кога се нешто касније развија појам саморегулације, који се односи на способност физиолошких система да одржавају стабилност или константност унутрашњег уређења упркос променама које се одвијају у њиховом окружењу. Клод Бернар је сматрао да способност саморегулације, или одржавања стабилности сопствене температуре хемијског састава или физичке структуре, чини један од основних услова опстанка сваког живог система.

Почетком двадесетог века, аустријски биолог Карл Лудвиг фон Берталанфи (Karl Ludwig von Bertalanffy), дефинише принципе „отвореног система“, система који је у сталној интеракцији са својим окружењем, путем размене енергије, информације и материје. У оквиру рада на генералној теорији система, Берталанфи указује да су принципи отворене организације применљиви изван оквира биологије, у природним и друштвеним дисциплинама.

Средином двадесетог века, амерички математичар Норберт Виенер (Norbert Wiener) је објавио књигу „Кибернетика: контрола и комуникација код животиња и машина“ (*Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine*) у којој представља идеју о системима који се заснивају на повратним токовима (*feedback loops*) размене информација. Према овој идеји, активност унутар неког система узрокује промене у његовом окружењу, које за узврат изазивају промене у самом систему. Он указује да је принцип међусобно узрочних односа (*circular causal relationships*) видљив у механичким, физичким, когнитивним, социолошким и биолошким система, и наводи пример екосистема, који се заснива на нераскидивом односу између живих организама и њиховог окружења.

Десетак година касније, аустријски физичар Хајнз фон Фоерстер (Heinz von Foerster) оснива „Биолошку рачунарску лабораторију“ (*Biological Computer Laboratory*), у оквиру одсека за електротехнику на Универзитету Илиноис (*Department of Electrical Engineering at the University of Illinois*) у Чикагу, која се бави истраживањем у области теорије система. Он развија посебно интересовање



за проучавање биолошких система употребом рачунарски контролираних процеса, у оквиру којих идентификује принципе самоорганизације, принципе успостављања уређења на основу локалних интеракција између компоненти које чине систем.

Какво је значење наведених појмова саморегулације, отворених система, повратних токова информација, самоорганизације и међусобно узрочних односа, у области архитектонског пројектовања? Михаел Хансел (Michael Hensel), у свом тексту „Перформативно заснована архитектура: Развој биолошке парадигме у архитектонском пројектовању“ (*Performance-oriented Architecture: Towards a Biological Paradigm for Architectural Design and the Built Environment*) указује на дисциплинарно придруживање између биологије и архитектуре, у оквиру кога идентификује три могућа приступа. Први је метафорички и подразумева успостављање формалне сличности између природних и изграђених структура. Други је аналогни, и заснива се на превођењу принципа функционисања живих организама у механичка или изграђена решења. И трећи је системски, и заснива се на идентификацији и анализи карактеристика биолошких система, које могу бити примењене у архитектонском пројектовању. Михаел Хансел сматра да системски приступ има највеће потенцијале, али истовремено указује на то да примена системског приступа у придруживању знања између биологије и архитектуре захтева нове технике и методологије истраживања и визуелизације, односно нове емпиријске облике продукције знања и спровођења пројектантских експеримената.

У наредним поглављима, идентификована су три начина моделовања у архитектонском пројектовању. Све три представљене технике се, свака на свој начин, заснивају на примени алгоритама у процесу моделовања. Алгоритам је логички механизам за решавање проблема који може бити представљен путем текста, графичке шеме или рачунарског кода, и може имати примену у великом броју научних области. У оквиру архитектонског пројектовања, Костас Терзидис (Kostas Terzidis, 2006) појашњава да је алгоритам процес решавања проблема кроз један одређени број корака. Према његовим речима, то је артикулација стратешког плана за решавање проблема или недетерминистичко трагање за решењем. Традиционално, алгоритми се примењују као математички или логички механизми за решавање практичних проблема. Међутим, у новије време постају

оквир за имплементацију решења која извршавају рачунари. Терзидис такође скреће пажњу на то да алгоритам представља начин размишљања. Према његовим речима, алгоритам није искључиво везан за рачунарску технологију, већ се везује за рачунање или процес решавања математичког проблема (*computation*), што се битно разликује од чина уношења, обраде и архивирања информација на рачунарском систему (*computerisation*). Ова дистинкција је веома битна јер ослобађа, искључује и раскида математички и логички процес од машине која омогућавања извршење тог процеса (Terzidis, 2006).

Овде је важно направити разлику између термина који нису експлицитно преведени на српски језик. Термин „рачунарско пројектовање“ (*Computational Design*) означава различите технике примене алгоритма за решавање пројектантских проблема и имплицитно подразумева примену компјутера, док термин „рачунарски помогнуто пројектовање“ (*Computer Aided Design CAD*) означава комерцијално доступне системе или софтверске платформе за архитектонско пројектовање и експлицитно подразумева употребу компјутера. Функционисање система за рачунарски помогнуто пројектовање се такође заснива на примени алгоритама. Међутим, њихово разумевање или познавање, у великој мери, није релевантно за коришћење система.

## 2.2 Параметарско моделовање

Широка примена параметарског моделовања у архитектури се везује за појаву софтверских платформи, које садрже графичке едиторе алгоритама. Путем примене алгоритамске логике, овакви алати омогућавају концепцију архитектонске форме на основу успостављања релација између геометријских облика. Првобитни системи за „рачунарски помогнуто пројектовање“ (*Computer Aided Design CAD*) настају са идејом да олакшају и убрзају могућности уобичајеног и традиционално успостављеног приступа у архитектонском пројектовању, који се заснива на моделовању путем комбиновања дводимензионалних геометријских елемената, као што су линије, кругови и троуглови, или тродимензионалних тела као што су коцке, лопте и купе. С друге стране, концепт параметарског моделовања се заснива на успостављању односа међу геометријским ентитетима који чине модел. Уместо пројектовања путем

умножавања и комбиновања индивидуалних геометријских елемената и тела, параметарско моделовање се заснива на дефинисању релација које регулишу односе међу индивидуалним компонентама.

У параметарском моделовању, укупна форма модела је дефинисана путем међусобне условљености између ентитета који је сачињавају. Суштинска новина параметарског моделовања у архитектури је да пројектант сада може да контролише укупну конфигурацију модела путем манипулације односа између компоненти, уместо путем пројектовања његових појединачних сегмената. Сами односи су дефинисани путем параметара, мерљивих вредности, које могу бити нумерички изражене. Једна од очигледних предности оваквог приступа је могућност брзе адаптације модела. Променом релација између компоненти, односно променом параметарских вредности, мења се укупна конфигурација модела. Уместо унапређења модела путем модификовања великог броја индивидуалних сегмената, параметарска контрола омогућава бржи начин за сагледање и анализирање алтернативних решења.

За појашњење овог наизглед сложеног концепта, Роберт Аиш (Robert Aish, 2005), користи једноставан пример модела који се састоји од две кружнице које се додирују. Уколико „додир“ прихватимо као однос ова два геометријска елемента, онда параметарска дефиниција тог односа гласи:  $a = p_1 + p_2$ , или: дужина линије која спаја центре кружница једнака је збиру њихових пречника. Промена сваког од пречника појединачно, условљава промену дужине линије, како би геометријска дефиниција „додира“ или односа између две кружнице остала очувана (Aish, 2005). Успостављањем односа између дужина два полупречника  $p_1$  и  $p_2$ , на овом примеру можемо сагледати принцип реконфигурације читавог модела на основу измене једне параметарске вредности, дужине линије или вредности само једног од два полупречника.

Промена параметарских вредности дозвољава испитивање великог броја могућих геометријских конфигурација. На овако једноставном моделу, који се састоји од три ентитета, није очигледна уштеда времена која је остварена путем параметарске контроле, наспрам појединачне модификације елемената. Међутим, уколико се модел састоји од неколико хиљада ентитета који су параметарски контролисани, као што би на пример могао бити случај са фасадним системом са

великим бројем перфорација, уштеда времена може бити значајна и параметарско моделовање може бити једини могући начин за испитивање алтернативних решења.

Услед природе параметарског моделовања, које се заснива на дефиницији односа, овакав приступ захтева додатну фазу у оквиру процеса пројектовања, током које се успостављају такви односи. Иницијално, архитекта мора да одустане од сâмог чина пројектовања и да се фокусира на формирање логике која омогућава параметарску контролу. Стварање односа захтева додатно знање које није део традиционалног пројектантског образовања (Woodbury, 2010). Првобитно, оваква вештина се заснивала на познавању програмских језика. Међутим, с развојем софтверских платформи, успостављање параметарских односа је прилагођено визуелном приступу који погодује већини архитеката. Данас, значајан број софтверских решења за тродимензионално моделовање у архитектонском пројектовању садржи графичке едиторе који олакшавају примену алгоритама у успостављању дефиниција параметарских односа.

„Параметарско моделовање омогућава концепцију архитектонске форме, путем описа низа могућности, путем процеса који мења стабилно са варијабилним, једину са множином. Применом параметарског модела, пројектант може створити неограничен број сличних објеката, геометријских манифестација претходно артикулисане схеме са променљивим димензијама и релацијама“ (Kolarević, 2002 p.17). Након неколико година примене параметарског моделовања у сопственој пројектантској пракси, Шумахер (Patrick Schumacher, 2009) закључује да је парадигма параметарског моделовања постала интегрални део савремене архитектуре. Он тврди да је фундаментална одлика параметарског моделовања, реализација тенденције која је формулисана почетком деведесетих година, у виду слогана „континулана диференцијација“ чији аутори су северноамерички теоретичари Џеф Кипнис (Jeff Kipnis) и Грег Лин (Greg Lynn). Шумахер указује да се овај концепт заснива на развоју алата који омогућавају прецизну формулацију односа између елемената и система који они чине (Schumacher, 2009).

Параметарско моделовање не игра само улогу у омогућавању адаптације модела током процеса архитектонског пројектовања, већ и у разматрању

просторних организација, структура и окружења које нису засноване на централном или хијерархијском геометријском уређењу, већ на локалним односима између њихових елемента, који су уређени путем успостављања правила. Виљем Мичел (William Mitchell, 1990), у својој књизи, „Логика архитектуре: пројектовање, рачунање и распознавање“ (*The Logic of Architecture: Design, Computation, and Cognition*) приближава идеју о могућностима описивања и конципирања просторних организација, путем примене правила која, попут граматичких правила говорног језика, чине механизам за успостављање структуре. Он описује концепт „граматике облика“ (*shape grammars*), који још раније успостављају Џорџ Стини и Џејмс Гипс (George Stiny, James Gips, 1972), као експлицитну примену синтаксе и граматике формалног језика у процесу архитектонског пројектовања. Путем анализе низа класичних текстова, Мичел указује да се традиционално разумевање архитектонске форме заснива на примени правила, као што су симетрија, ритам, пропорција и посебно указује на књигу Овена Џонса (Owen Jones, 2001), под називом „Грамматика орнамента“ (*Grammar of the Ornament*), у којој је развијена теза да форма не сме бити очигледна, већ да постоји пропорционалност између оног што прихватамо као лепо и менталног напора који је неопходан за откривање таквих, структуралних правила. Значајно пре експанзије рачунарске технологије, Мичел износи мишљење да системи за рачунарски помогнуто пројектовање омогућавају нови језик архитектуре, који се заснива на алгоритамској логици и тежи успостављању нових и сложенијих просторних организација, структура и окружења. Са једне стране, Мичелове идеје можемо сагледати као претечу параметарског или релационог моделовања, а са друге као претходницу развоја много ширег спектра алгоритамски заснованих приступа у концепцији просторних окружења.

### 2.3 Моделовање путем генетских алгоритама

Развој примене генетских алгоритама, првенствено у решавању техничких проблема, почиње средином двадесетог века. Током седамдесетих, Џон Холанд (John Holland), објављује књигу „Адаптација природних и вештачких система“ (*Adaptation in Natural and Artificial Systems*) у којој популаризује идеју о генетским алгоритмима и развија тезу да њихово разумевање има шири значај и улогу у

истраживању комплексних адаптивних система, које карактерише велики број нелинеарно условљених параметра. Холанд (1975) указује на могућу примену генетских алгоритама у веома различитим областима, попут економије и психологије.

У књизи, „Еволутивна архитектура“ (*Evolutionary Architecture*), Џон Фрејзер (John Frazer, 1995) продубљује идеју о могућностима инструментализације принципа организације природних процеса и система у оквирима области архитектонског пројектовања путем примене рачунарски заснованих техника моделовања. Према његовим речима, „природни системи рециклирају градивне материјале, омогућавају промене и адаптације сопствене структуре и налазе начин за ефикасну употребу енергије из окружења, за разлику од већине изграђених окружења која имају једноставне и непотпуне структуре, која не рециклирају материјале, не могу да се адаптирају и неконтролисано троше енергију“ (Frazer, 1995 p.16). У својој књизи „Архитектура у дигитално доба: пројектовање и производња“ (*Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*), Бранко Коларевић (2002) се надовезује на истраживања која је Фрејзер спроводио током деведесетих година на Универзитету у Кембриџу (Cambridge University) и Школи за архитектуру при Архитектонској асоцијацији (Architectural Association) у Лондону, и сâм указује на то да концепти биолошког раста и форме, попут еволутивног модела у природи, могу бити примењени у архитектонском пројектовању. Механизам за примену еволутивног модела у архитектонском пројектовању, а који описују оба аутора, чини низ генеративних правила која су структурирана у виду низа инструкција, које чине рачунарски скрипт или програм (Kolarević 2002, p.23). Приступ пројектовању који заступа Фрејзер сугерише „продукцију низа прототипских форми, које су евалуиране према сопственим перформансама у оквиру симулираног окружења“ (Frazer, 1995 p.12). Могућности архитектонског пројектовања путем реализације прототипских модела биће разјашњена у наредној глави, која чини финални сегмент теоријске платформе за експериментално истраживање, које ће бити изложеноу другом делу ове дисертације.

Примена генетских алгоритама се заснива на принципу биолошке еволуције, према коме се у природном свету одвија селекција врста живих организама. Прецизнија формулација успоставља примену генетских алгоритама

као метод оптимизације који обухвата процесе популације, мутације, реконфигурације и селекције (Hoffmeister, Back, 1991). У оквиру истраживања метода оптимизације у пројектовању просторних конструктивних система, Димчић (2011) наводи да се пут примене генетских алгоритама не разликује значајно од традиционално успостављене логике процеса архитектонског пројектовања, и да се може сажети у пет корака које чине: разматрање низа могућих решења, селекција прихватљивих решења, унапређење изабраних решења, комбиновање унапређених решења ради постизања нових, и последњи корак који обухвата понављање наведене процедуре све до остваривања задовољавајућег или оптималног резултата (Димчић 2011). Суштинска предност примене генетских алгоритама лежи у испитивању већег броја могућности ради проналажења најбољег решења. Процес оптимизације је аутоматизован и заснован на низу алгоритамских правила која су структурирана у виду ланца који је еквивалентан хромозомској структури која омогућава одвијање процеса генетичке мутације, реконфигурације и селекције, одакле потиче логика и назив саме технике моделовања.

Примена генетских алгоритама у решавању техничких проблема који укључују различите видове конструктивних оптимизација, данас представља корисно и узбудљиво поље истраживања. Међутим, у оквирима овог научног рада бавимо се питањем развоја методолошких одредница у архитектонском пројектовању и усредсређени смо на питања која се првенствено односе на технике и методологију пројектовања које омогућавају развој адаптивних принципа у концепцији простора. У контексту архитектонског пројектовања разматрамо начине за примену знања из других дисциплина, у које укључујемо и примену генетских алгоритама.

Биомиметика (*Biomimethics*) или биомимикрија (*Biomimicry*) је истраживачка област која се бави проучавањем биолошких система и применом тако стеченог знања у развоју нових материјала и технологија. Питање примене биолошких принципа у архитектонском пројектовању, непосредно у концепцији и реализацији просторних организација, покренуто је у оквиру едукативног програма који су основали Мајкл Хансел (Michael Hensel), Ахим Менгес (Achim Menges) и Мајкл Вајнсток (Michael Weinstock) у оквиру Архитектонске асоцијације у Лондону. Данас се слична истраживања одвијају још и на

Истраживачком центру за архитектуру и тектонику (*Research Center for Architecture and Tectonics RCAT*) у Ослу и Институту за рачунарско пројектовање (*The Institute for Computational Design ICD*) у Штутгарту и многим другим школама. Један од централних проблема оваквих истраживања односи се на концепцију и реализацију просторних организација, структура и окружења које поседују функционалности и перформативне капацитете биолошких организама (Hansel, 2006). У оквиру првог поглавља ове главе, указано је на потенцијал дисциплинарног придруживања биологије и архитектуре, а потом је идентификован системски приступ у интердисциплинарном истраживању који се заснива на анализи карактеристика биолошких система, које могу бити примењене непосредно у архитектонском пројектовању. Управо попут, претходно описаног оквира који је седамдесетих година успоставио Хајнз фон Фоерстер (Heinz von Foerster) оснивањем Биолошке рачунарске лабораторије у Чикагу, ради проучавања биолошких система путем примене рачунарски контролисаних процеса, наведене архитектонске лабораторије у Лондону, Штутгарту и Ослу, данас истражују биолошке принципе успостављања уређења у концепцији просторних организација, структура и окружења.

У истраживању биолошких система, посебно место заузима појам самоорганизације, успостављања уређења на основу локалних интеракција између компоненти које чине сложене системе. Стјуарт Кауфман (Suart Kauffman, 1993) појашњава феномен само-организације као процес спонтаног успостављања уређења, који омогућава адаптацију многих сложених биолошких система и чини окосницу теорије еволуције. Овакве системе карактеришу емергентне карактеристике, које не могу бити целовито схваћене кроз анализу појединачних сегмената, већ једино кроз сагледавање интеракције међу његовим конститутивним елементима, као и интеракције целокупног система и његовог окружења (Cilliers, 1998). Кауфман указује да идеја о самоорганизацији превазилази границе биологије и има примену у савременим наукама, као што су: математика, физика и хемија. Хансел сматра да се принцип самоорганизације, као процес у коме се интерно уређење система успоставља без спољних утицаја, може превести у стратешко разматрање на нивоу архитектуре (Hansel, 2006).

Једна од могућих интерпретација појма самоорганизације у архитектури односи се на способност материје да прилагоди своју структуру како би заузела



стабилну конфигурацију, под дејством неке силе. Веинсток указује да су Антонио Гауди, Хајнц Излер (Heinz Isler), Фреи Ото и многе друге архитекте и инжењери, експлоатисали овакве принципе обликовања путем примене аналогних метода моделовања (Weinstock, 2006). Он сматра да питање форме чини централни предмет истраживања у теорији и пракси кроз читаву историју архитектуре, и указује на развој ре-конфигурисане концепције „природног“ у оквиру савременог архитектонског дискурса, према коме се питање облика везује непосредно за питања његових перформанси: Како је осветљен? Како се вентилира? Како омогућава проток и транспорт? Како се загрева и задржава топлоту? Веинсток нас подсећа да је у биолошком свету форма непосредна последица метаболизма, да енергија и материја заједно одређују форму живих организама (Weinstock, 2008).

#### 2.4 **Моделовање путем наменског програмирања и употребе компјутерских језика**

Слично као и у претходно описаним техникама параметарског моделовања и примене генетских алгоритама, употреба наменског програмирања у архитектонском пројектовању омогућава постизање пројектантских циљева путем примене алгоритамске логике. Приказ могућности примене програмских језика у архитектури је делимично заснован на редигованом тексту који је настао путем колаборације и заједничког доприноса корисника Процесинга (*Processing*). Поред овог, постоји низ других програмских језика који налазе примену у области архитектонског пројектовања, као што су: *Python*, *rhinoScript*, *Visual Basic Script*, *C++* и *Maya Embedded Language MEL*. Иницијативу за настанак текста, као и сâм програмски језик Процесинг, покренули су Бен Фрај (Ben Fry) и Кејси Риас (Casey Reas). Међутим, ово поглавље се не односи на специфичности једног програмског језика, већ на проблематику једне читаве парадигме која се заснива на примени рачунарског програмирања у архитектури.

Процесинг је настао ради развијања визуелних идеја путем рачунарског програмирања. Његов кôд је „отворени извор“ (*open source*), јавно је доступан и налази примену као алат за стварање слика, анимација и интерактивних облика визуелне уметности. У архитектури се користи за иницијацију пројектантских идеја, које се потом могу развијати путем примене других програмских језика или

система за рачунарски помогнуто пројектовање. Улога овог програмског језика је испитивање сложених просторних организација, чије се разумевање заснива на обради великих количина података, које генеришу интерактивни процеси који се одвијају у реалном времену. Процесинг као и други програмски језици, омогућава примену стратегије „објектно оријентисаног програмирања“ (*object oriented programming OOP*), непосредно у архитектонском пројектовању. Објектно оријентисани приступ се заснива на успостављању структура путем уређивања локалних односа, или интеракције и размене информација међу објектима који чине такву структуру. У архитектури, као и у програмирању, објектно оријентисано истраживање омогућава планирање структура, које настају на основу акумулације односа унутар велике популације објеката или „софтверских агената“ које карактерише одређени степен интелигенције, односно способности да донесу сопствене одлуке. Овакви системи називају се „мулти-агентски системи“ (*Multy Agent Systems MAS*) и данас налазе примену у различитим научним областима, као што су друштвене науке или економија.

Управо на начин на који је то сугерисано у оквиру дискусије о принципима самоорганизације биолошких система, објектно оријентисани приступ омогућава боље разумевање принципа организације сложених просторних уређења. Рани пример оваквог модела направио је Крег Рејнолдс (Craig Reynolds, 1986) у виду рачунарске симулације „понашања мноштва“ (*swarm behaviour*), феномена који у биолошком свету објашњава окупљање и кретање великог броја животиња, као што су јата птица и риба. Рејнолдсов алгоритамски модел се заснива на принципима колективне интелигенције, која је успостављена путем примене три једноставна правила, на основу којих је регулисано понашање сваког објекта који чини мноштво или колектив. У овом случају, таква једноставна правила гласе: крећи се у истом смеру као суседни објекат, одржавај близину са суседним објектом и избегни колизију са суседним објектом (Reynolds, 1986). У оквирима архитектонског пројектовања, једноставна правила која су структурирана у виду алгоритма и аплицирана на велики број објекта такође могу да произведу сложене просторне организације.

Суштински, примена наменског програмирања у архитектури омогућава концепцију форме путем симулације формативних процеса, односно процеса који воде ка њеном формирању. Модели коју настају применом алгоритама су

засновани на релацијама, нису статични, већ динамични и способни су да се адаптирају према променама унутрашњих односа међу његовим елементима или према спољним утицајима који у виду сила делују на њихове елементе. Један могући вид наменског програмирања у архитектонском пројектовању заснован је на примени „система честица“ (*particle systems*), чије кретање као и у физичком свету, одређује низ узајамно преплетених закона природе који су сада успостављени путем алгоритамских дефиниција. У оквиру дискусије о могућностима унапређења аналогних техника моделовања, у претходној глави је, на примеру развоја дигиталне технике моделовања коју је развио Аксел Килијан (Axel Kilian, 2004), а на основу Гаудијевог модела за цркву Гуељ, указано на могућност превођења технике физичког моделовања, са свим њеним сложеностима, које обухватају карактеристике материјала и утицаје закона физике и хемије, у знатно ефикаснију технику засновану на дигиталној технологији, управо путем примене система честица (Kilian, 2004).

У поређењу са претходно описаним техникама моделовања, које чине параметарско моделовање и примена генетских алгоритама, употреба наменског програмирања, поред адаптивности модела може помоћи у успостављању повратног тока информација између модела и његовог окружења. Управо на начин на који је то сугерисао Виенер средином двадесетог века, водећи се идејом о међусобно узрочним односима између посматраног система и његовог окружења, модели чија је логичка структура заснована на алгоритамским правилима, а која су успостављена путем примене програмских језика, могу се прилагодити према информацијама које настају кроз интеракцију модела и његовог окружења.

Могућности примене мулти-агентски система ради успостављања повратног тока информација током архитектонског моделовања везују се за проблеме чије размере варирају од најмањих до највећих, могу се односити на понашање и потребе великог броја корисника пројектованог простора, или на сасвим другом нивоу на молекуларне појаве које се одвијају у грађевинским материјалима. За архитектуру, један од најважнијих потенцијала примене програмских језика лежи у повезивању дигиталних и аналогних механизма, односно, у повезивању физичког са дигиталним окружењем. Модели који настају применом програмских језика, имају потенцијал да обједине различите

информације које би у супротном могле бити представљене једино симултаном применом већег броја различитих медија, као што су табеле, цртежи, слике, видео и аудио снимци. Проширивање поља деловања у архитектонском пројектовању, које је остварено овим путем, омогућава адекватније разматрање перформанси и односи се на шири обухват информација које су релевантне у формирању просторних организација. У претходној глави, приказане су аналогне технике моделовања које се непосредно заснивају на понашању грађевинских материјала према дистрибуцији статичких сила. Међутим, овај принцип је подједнако применљив и на друге перформансе модела или повратне токове размене информација, које се могу односити на проблем енергетске ефикасности објеката и могу бити изражене путем процеса као што су конвекција, кондукција, испаравање или радијација (Rahm, 2009).

На примеру нумеричког модела за метеоролошку прогнозу, који је приказан у претходној глави у оквиру дискусије о просторно-темпоралним аспектима моделовања, идентификован је значај прикупљања и обраде улазних података током самог процеса моделовања. У складу са овом идејом, у контексту архитектонског моделовања, путем примене сензора, механизма за мерење перформанси у виду температуре, влажности или осветљености, могуће је успоставити сталну везу између окружења и модела, односно између информација и обликовања. Као последицу оваквог моделовања, имамо просторне облике или организације који нису наметнути или засновани на геометријским конвенцијама, већ успостављени на основу улазних податка које чине перформативни захтеви. Ова претпоставка чини једну од окосница развоја специфичне технике моделовања која ће бити приказана и испитана у другом делу ове дисертације. Планирано истраживање кроз пројекат које је документовано у оквиру ове дисертације се односи на испитивање могућности образовања међусобно узрочних односа између модела и његовог окружења, путем успостављања непосреднијег односа између материје и информације. Проблем перформативног у архитектонском пројектовању повезујемо непосредно са питањем материјалности и разматрамо да ли карактеристике материјала могу имати активну улогу у процесу организације простора као и формације облика. У оквиру даљег истраживања, предвиђена је примена наменског програмирања у развоју алата који омогућавају симулацију физичких својстава материјала током

геометријског моделовања. Очекујемо да ће развијена техника моделовања, са једне стране, омогући укључивање физичких и материјалних процеса, а са друге примену принципа самоорганизације, путем успостављања једноставних правила понашања сваког објекта који ће чинити део посматраног система.

## **2.5 Преглед савремених истраживања у области алгоритамског моделовања физичких и материјалних процеса**

Истраживачке делатности у области архитектонског пројектовања данас показују све веће интересовање за перформансе материјала. Боље разумевање нових могућности је потпомогнуто развојем технолошких капацитета за прорачун и контролу унутрашње или хемијске структуре грађевинских материјала. Пројектанти данас развијају моделе који користе рачунарске кодове за представљање физичких процеса и понашање грађевинских материјала (Fuge, 2011). У овом поглављу приказан је низ текућих студија, које могу бити повезане, на основу сродних проблема и предмета истраживања, са поставком експерименталног рада који је забележен у другом делу ове дисертације.

Заједнички проблем, од кога полазе наведена истраживања, заснива се на запажању да својства грађевинских материјала и техника градње, не утичу директно на формирање геометрије током архитектонског пројектовања и да данас још увек постоји само врло мали број пројектантских алата који омогућавају непосредно разматрање проблема материјалности у почетним фазама архитектонског пројекта. Традиционално, процес архитектонског пројектовања се ослања на примену визуелних средстава, која се заснивају на геометријској представи и која не омогућавају да аспекти материјализације, реализације и употребе буду непосредно укључени у процес концепције архитектонског пројекта (Ahlquist, Menges, 2011). На Институту за алгоритамско пројектовање у Штутгарту, овај проблем се доводи у везу са могућностима примене наменског програмирања које омогућава непосредно укључивање утицаја физичких и материјалних процеса као што су гравитација, отпор, истезање, савијање и инфлација, у сâм ток моделовања (Ahlquist, Menges 2011). Према речима директора Института, циљ оваквих истраживања је померање у разумевању проблема материјалности у архитектури, који обухвата смену са визуелне

перцепције на оперативно истраживање путем симулације апроксимативних карактеристика материјала током процеса моделовања. Идеја подразумева вид моделовања кроз успостављање релација међу елементима система који је предмет моделовања, и обухвата однос између тог система и његовог окружења (Ahlquist, Menges 2011).

Интересовање за сличне проблеме видимо и у другим, не толико технички усмереним истраживањима. У оквиру едукативног и истраживачког рада на Прат Институту (Pratt Institute) у Њујорку, Гил Акос и Рони Парсонс (Gil Akos, Roni Parsons, 2011) развијају тезу да знање стечено у областима које називају „периферним“ у односу на архитектонско пројектовање, може бити примењено непосредно у самом процесу концепције сложених просторних организација. Акос и Гил указују на Енгелову (Heino Engel, 2007) дефиницију „структуралних система са активном формом“, према којој такве структуре настају на основу понашања флексибилне и активне материје која их сачињава, и тежи да заузме стабилну конфигурацију, тако што својом прерасподелом омогућава ефикасније преношење статичких сила. У контексту овог истраживања још једном је указано на аналогне технике моделовања које су примењивали Ото и Гауди, приликом експлоатације карактеристика материјала и закона физике ради концепције просторних форми и пројектовања конструктивних система. У оба случаја, постизање конструктивне стабилности засновано је на способности материје да под дејством спољних утицаја заузме стабилну конфигурацију. Приступ који развијају Акос и Парсонс, обухвата боље разумевање односа између просторног облика, материје и статичких сила и указује на неопходност успостављања континуитета између физичког и дигиталног, путем техника моделовања које обједињују израду аналогних модела са рачунарски заснованим симулацијама физичких процеса (Akos, Parsons 2011).

У оквиру паралелно спроведеног истраживања на Таубман колеџу за архитектуру Универзитета у Мичигену (*University of Michigan Taubman College of Architecture*), Адам Фур (Adam Fure) нас подсећа да се иновације у архитектонском пројектовању тренутно одвијају на два доминантна фронта, која чине: дигитално заснована производња, и развој нових материјала у грађевинској индустрији. Он закључује да је сада кључно питање како успоставити бољи континуитет између физичких карактеристика материјала и дигиталне форме.

Предмет истраживања на Таубман колеџу је омогућавање укључивања хетерогене и променљиве природе грађевинских материјала у процес архитектонског моделовања путем примене рачунарског програмирања. Адам Фур зато истиче потребу за развојем техника моделовања које се заснивају на усађеној способности материје да произведе непредвидиве и сложене форме, а затим указује на значај развоја техника моделовања које се заснивају на приближавању дигитално заснованог процеса пројектовања и материјално заснованих испитивања (Fure 2011).

Откривање нових грађевинских материјала се одвија на интердисциплинарном пољу које се успоставља под називом „наука о материјалима“ (*Material Science*) и које привлачи све већу пажњу истраживачки оријентисаних делатности у архитектури. У оквиру рада на докторској тези на Краљевском колеџу уметности (*Royal College of Art*) у Лондону, Кристина Думпиоти (Christina Doumpioti, 2011) истражује ефекте развоја знања о својствима материјала и технологијама производње. Као многи други истраживачи, она се позива на рад Манула Деланде (Manule DeLanda), који на пољу савремене филозофије развија идеју према којој својства материјала, много пре него спољни обликовни утицаји, могу постати доминанте у морфогенетичким процесима (DeLanda, 1995). Боље разумевање карактеристика материјала на нивоу њихове молекуларне структуре, представљају могућност за остваривање усаглашенијег односа између просторне форме и њеног окружења (Doumpioti, 2011). Један могући приступ у развоју способности модела, баш као и изграђених окружења, да се прилагоде променама које настају у њиховом окружењу, заснива се на развоју нових материјала, чије молекуларне структуре омогућавају промене. Думпиоти нас подсећа да грађевински материјали мењају своју молекуларну структуру према утицајима из окружења као што су температура, влажност, притисак (Doumpioti, 2011) и да као и све структуре у природи, настају као последица односа између материје и енергије. Могућност експлоатације иманентне способности материје да произведе просторне организације, структуре и окружења, условљена је развојем нових техника и методологија истраживања и пројектовања. Са друге стране, успех на овом пољу је условљен могућностима приближавања или укрштања методологије архитектонског пројектовања са видовима емпиријске продукције у другим дисциплинама. Потребно је испитати

да ли методе симулације, које налазе примену у евалуацији статичких перформанси модела, попут анализа путем коначних елемената, могу имати непосредну примену у архитектонском пројектовању путем предвиђања и успостављања могућег понашања материје које резултује формирањем просторних организација, структура и окружења. Овим питањем ћемо се бавити путем експерименталног рада који је документован у другом делу ове научне дисертације. Претходно је потребно утврдити општи значај симулације у оквиру архитектонског пројектовања.

## **2.6 Епистемолошко разјашњење улоге перформативног модела у процесу архитектонског пројектовања**

Питање улоге и значаја модела у архитектонском пројектовању, као и у савременим наукама, јесте епистемолошко питање. Рачунарски засноваан модел, или симулација, првобитно је прихваћен као специфична врста динамичког модела, који подразумева еволуцију посматраног система кроз време. Међутим, данас је знатно сложеније разумевање улоге симулације у процесу развијања сазнања. Франк Варене (Franck Varenne, 2010) сматра да се општи ефекат рачунарски заснованог преокрета у техничким наукама и архитектонском пројектовању огледа у маргинализацији математичког модела, у корист програмских језика, формализама и система. Посебан допринос компјутерског преокрета је повећање капацитета пројектованих система да изграде хетерогене односе према стварима, физичким својствима, функцијама, окружењима и другим пројектованим системима или вредностима (Varenne 2010). Варене сматра да је парадоксално, али и разумљиво, да такви системи граде нову материјалност, захваљујући свеобухватном приступу који укључује мноштво повезаних модела који описују предмет изучавања (Varenne, 2012). Са становишта историје епистемологије, Варене нам скреће пажњу да примена програмских језика има потенцијал да трансформише традиционално успостављене токове развијања знања у многим дисциплинама. Он идентификује проблем „нове материјалности“, који се заснива на опсежнијем и темељнијем разумевању света који нас окружује



и указује на специфичан значај који имају технике моделовања, међу којима се налази и техника симулације.

Варене посебно истиче да примена „Мулти-агентских система“ (*Multy Agent Systems MAS*) и других видова симулирања, омогућавају вид моделовања који истовремено укључује запажања, описе и предвиђања (Varenne, 2012). Он нас подсећа да се емпиријске науке заснивају на методолошким запажањима, истраживању и експериментисању. У оваквом контексту, експеримент представља метод тестирања који се спроводи у циљу појашњења неке појаве. Са друге стране, Варене наставља, теоретске приступе који се заснивају на моделовању, сагледавамо као концептуалне или хипотетичко-дедуктивне. Епистемолошка улога научног модела је првобитно одређена на основу систематске компарације са теоријом. Такви модели нису прихваћени као аутономни, већ као деривати који настају на основу теорија, чија је улога да успоставе структуру и односе који представљају одређене теорије. Међутим, у оквиру приступа, који истовремено укључује опсервације, дескрипције и проскрипције, улога модела се приближава улози експеримента, и модел је прихваћен као „аутономни медијатор“ (Morgan, 1999) између теорије, праксе и експериментално утврђених података (Phan, Varenne, 2010).

Другим речима, аргумент који развијају Фан и Варене (2010), односи се на померање епистемолошког статуса модела путем укључивања симулације у процес моделовања. Ову тврдњу исти аутори илуструју опсервацијама да у друштвеним наукама, уз индуктивне и дедуктивне методе, симулација представља „трећи начин бављења науком“ (Axelrod, 1997 p.21). У друштвеним дисциплинама, симулирање се разматра као вид научног истраживања, који се разликује од моделовања, и по свом карактеру се приближава експериментисању, управо услед егзактног, непосредног и формативног утицаја информација на предмет изучавања. Уколико прихватимо да примена перформативног модела може подједнако значајно утицати на развој методологије архитектонског пројектовања, можемо и очекивати да ће током процеса пројектовања симулација физичких и материјалних процеса омогућити ревидирано поимање проблема материјалности, односно перформанси грађевинских материјала, и то непосредно у концепцији просторних организација, структура и окружења.

## 2.7 Закључак

Један од проблема који је истражен у овој глави односи се на могућности трансфера техника перформативног моделовања са периферних дисциплина, као што су конструкција или грађевинска физика, на сâмо питање обликовања и организације простора чини срж архитектонског пројектовања. Претпоставка да утицај перформанси може имати непосредан и обликовни значај током архитектонског моделовања, постаје једна од окосница развоја специфичне технике моделовања, а биће проверена путем истраживања кроз пројекат, које је документовано у другом делу ове дисертације.

Указано је да концепт перформативног моделовања обухвата продукцију различитих облика архитектонских модела који омогућавају континуалну адаптацију модела на основу повратних информација које настају евалуацијом перформанси тог модела. Овакав приступ се заснива на две важне претпоставке. Прва је стална интеракција модела са окружењем, а друга је способност модела да се измени, односно адаптира на основу повратних информација које настају путем такве интеракције.

Описане су три технике моделовања које се заснивају на примени алгоритамске логике. Уз велики број заједничких карактеристика, идентификоване су значајне разлике које указују на посебности сваке од ових техника. Параметарско моделовање омогућава брзу промену, односно адаптацију модела путем реконфигурације међусобних односа између елемената који чине тај модел. Примена генетских алгоритама омогућава моделовања путем испитивања великог броја могућности, које се, ради остваривања најоптималнијег решења, одабирају према успостављеним критеријумима. Наменско програмирање је последњи и најшири концепт који обухвата примену програмских језика за објектно оријентисано програмирање, али и других облика кодирања који могу омогућити успостављање непосредне интеракције између модела и његовог окружења. Попут прве две технике, и ова техника подразумева променљивост модела. Међутим, путем наменског програмирања могуће је успоставити међусобно узрочне везе између модела и његовог окружења, тако да свака промена у окружењу има импликације на модел.

Ова претпоставка чини једну од окосница развоја специфичне технике моделовања која ће бити приказана и испитана у другом делу ове дисертације. Планирано истраживање кроз пројекат, које је документовано у оквиру ове дисертације, односи се на испитивање могућности образовања међусобно узрочних односа између модела и његовог окружења, путем успостављања непосреднијег односа између материје и информације. Проблем перформативног у архитектонском пројектовању непосредно повезујемо са питањем материјалности и успостављамо пројектантске механизме који се заснивају на активној улози карактеристика материјала у организацији простора и формацији облика. У оквиру даљег истраживања, предвиђена је примена наменског програмирања у развоју алата који омогућавају симулацију физичких својстава материјала. Очекивано је да развијена техника моделовања, са једне стране, омогући укључивање физичких и материјалних процеса, а са друге примену принципа самоорганизације, путем успостављања једноставних правила понашања сваког објекта, који ће чинити део посматраног система.

## Глава III      **Прототипски модел**

<b>3.0</b>	Увод .....	77
<b>3.1</b>	Идентификација улоге прототипског модела у развоју адаптивних принципа и итеративне структуре у процесу архитектонског пројектовања .....	79
<b>3.2</b>	Преглед релевантних техника и стратегија моделовања .....	82
3.2.1	Израда прототипских модела „N EDG” и “N STRIP”, Marc Fornes.....	84
3.2.2	Израда прототипских модела „Y/SURF/STRUC” и „NONLIN/LIN”, Marc Fornes.....	87
<b>3.3</b>	Проблеми у пројектовању путем примене прототипских модела .....	90
<b>3.4</b>	Разјашњење улоге модела у пуној размери .....	93
<b>3.5</b>	Разјашњење улоге система за рачунарски помогнуто пројектовање и производњу (CAD/CAM) у развоју прототипског моделовања .....	95
<b>3.6</b>	Закључак .....	98

### 3.0 Увод

У овој глави испитујемо улогу прототипског модела у процесу архитектонског пројектовања и настављамо истраживање аспеката моделовања који подржавају развој адаптивних принципа и итеративне структуре процеса архитектонског пројектовања. У прототипске моделе у архитектури сврставамо моделе чија основна намена лежи у стицању сазнања која се потом непосредно користе за реализацију следећег модела у низу итерација. Сваки модел у оваквом низу задржава кључне и заједничке карактеристике, али се истовремено мења и прилагођава тако да његове перформансе превазилазе перформансе његовог претходника. Процес архитектонског пројектовања путем примене прототипских модела разматрамо као низ итерација у виду континуалног тока адаптација, који за собом оставља видљиву структуру. Предмет истраживања су методолошке одреднице којима се успоставља циклична веза између формирања и провере претпоставки током процеса архитектонског пројектовања. На основу примене прототипских модела, разматрамо могућност непосреднијег укључивања чина евалуације у сâм ток концепције архитектонског пројекта.

Дискусија о значају прототипских модела у савременом и истраживачки оријентисаном раду у архитектури заснивамо на прегледу техника и стратегија моделовања које развија француски архитекта и истраживач Марк Форнес (Marc Fornes), кроз израду низа прототипских модела сложених структура које чине самонесеће и двоструко закривљене површи. У периоду од две године, Форнес усавршава технику моделовања оваквих структура путем израде серије прототипа од алуминијумског материјала. Ток израде сваког прототипског модела је документован од стране аутора и чини примарни извор информација за ово истраживање.

Међу прототипске моделе у савременим истраживањима, сврставамо моделе који се производе без размере, и моделе који се реализују у пуној размери објекта кога представљају. Проблеми у истраживању путем израде прототипских модела се огледају у квалитету информација које они генеришу и везују се за веродостојност њихове материјализације и размере. У индустријском дизајну, прототип се производи у правој величини, размери један на један, и израђује се од

материјала који конкуришу за крајњу реализацију. У архитектури, веродостојност прототипа често није апсолутна због размере и комплексности грађевинских пројеката. Улога прототипског модела је сложенија и недовољно дефинисана услед саме природе грађевинске индустрије која обухвата и област архитектонског пројектовања.

У оквиру ове главе приказан је развој лабораторија за израду модела у пуној размери које, седамдесетих година прошлог века, настају у оквиру архитектонских школа, у земљама Скандинавије. Потом је размотрена парадигматска промена заснована на прихватању система за рачунарски помогнуто пројектовање и производњу (*Computer aided design and manufacturing CAD/CAM*), која у архитектури узима маха током друге половине деведесетих година прошлог века, и условљава формирање лабораторија за дигиталну фабрикацију, чију употребу подразумева већина савремених образовних курикулума у области архитектонског пројектовања.

Реализација савремених прототипских модела је сложен и захтеван процес који истовремено обухвата аспекте архитектонског пројектовања и реализације архитектонског пројекта и заснива се на паралелној примени рачунарски заснованих техника моделовања које су разјашњене у претходној глави и непосредном раду са грађевинским материјалима. Специфичност прототипских модела, у поређењу са другим архитектонским алатима као што су цртеж, макета и дијаграм, лежи управо у непосредном укључивању аспеката производње и градње у сâм процес пројектовања, што омогућава испитивање односа између концепције и реализације архитектонског пројекта и преиспитивање традиционално успостављене поделе између ове две фазе. Потреба за даљим проучавањем прототипских модела лежи управо у испитивању могућности за обједињавање аспеката истраживања, пројектовања и реализације архитектонских пројеката. Формирани закључци о улози прототипског модела у процесу архитектонског пројектовања у овој глави, примењени су као окоснице развоја специфичне технике моделовања која ће бити проверена путем истраживања кроз пројекат, које је документовано у другом делу ове дисертације.

### 3.1 Идентификација улоге прототипског модела у развоју адаптивних принципа и итеративне структуре процеса архитектонског пројектовања

Истраживање путем прототипских модела је један од прихваћених начина истраживања у областима које се баве стваралачким радом. У области индустријског дизајна, прототипски модели налазе примену у развоју производа тако што омогућавају веродостојно тестирање низа алтернативних решења. Употреба прототипа у архитектури није део стандардне праксе и најчешће се везује за пројектовање великог броја идентичних објеката, чиме се оправдава иницијална инвестиција конструкције модела у пуној величини. Услед размере и сложености проблема везаних за реализацију грађевинских пројеката, могућност прототипског истраживања у архитектури је ограничена. У оквиру овог научног рада истражујемо могућности проширења примене прототипског моделовања и различиту улогу прототипског модела у архитектури, која се заснива на ревидираном значењу проблема размере у архитектонском моделовању путем примене нових медија у процесу пројектовања. Овакву улогу прототипског модела везујемо за појаву специфичног деловања у истраживачки оријентисаној пракси архитектонског пројектовања и испитујемо да ли таква улога може да омогући приближавање традиционално раздвојених фаза грађевинских подухвата које чине пројектовање и реализација.

Посебност примене прототипских модела, у односу на друге методе истраживања, јесте могућност паралелног спровођења *ex post* евалуације или дескрипције, и *ex ante* евалуације или предикције (Van der Voordt, 2005). Процес прототипског истраживања се заснива на продукцији серије модела, при чему се након реализације сваког од њих паралелно спроводе *ex post* и *ex ante* евалуација. Сваки од паралелних парова евалуација условљава једну од две могућности, које чине: адаптација модела, или закључак да је постигнут одговарајући резултат, чиме је процес моделовања окончан. Уколико прихватимо да се циклус истраживања путем прототипских модела састоји од продукције, испитивања и адаптације модела, и да се укупан ток истраживања може састојати из већег броја оваквих циклуса, можемо наставити да испитујемо у којој мери је могуће повезати

овакв вид истраживања са методологијом архитектонског пројектовања. Још једном постављамо питање да ли укрштање карактера процеса архитектонског пројектовања и научног рада чини искорак у односу на интуитивну спознају и искуствено засновани, хеуристички приступ на коме се традиционално темељи дисциплина архитектонског пројектовања. Овим путем такође продубљујемо раније отворену дискусију о приступању архитектонском пројекту, као научном експерименту.

У прототипске моделе у архитектури сврставамо моделе чија основна намена лежи у стицању сазнања која се непосредно потом користе за реализацију следећег модела у низу итерација које настају током процеса архитектонског пројектовања. Сваки наредни модел у оваквом низу задржава карактеристике претходног модела, али се истовремено мења и прилагођава тако да његове перформансе превазилазе перформансе претходног модела. Процес архитектонског пројектовања путем примене прототипских модела сагледавамо као низ итерација у виду континуалног тока адаптација, који за собом оставља видљиву структуру.

У оквиру дискусије о улози прототипског модела у развоју адаптивних принципа и итеративне структуре процеса архитектонског пројектовања, можемо успоставити везу између развоја система за „рачунарски помогнуто архитектонско пројектовање“ (*Computer Aided Design CAAD*) и појаве нових и специфичних приступа у концепцији просторних организација, структура и окружења, који подразумевају продукцију низа инстанци једног модела, пре него што је дефинисано и усвојено коначно решење. У претходном току истраживања, извршен је преглед специфичних видова дигиталних, односно рачунарски заснованих, техника моделовања, које подржавају развој адаптивних принципа у архитектонском пројектовању, као што су асоцијативно или параметарско моделовање, моделовање путем генетских алгоритама, и моделовање путем наменског програмирања и употребе компјутерских језика. У претходној глави је идентификовано да овакве технике обухватају динамичке процесе обликовања и континуалну адаптацију модела током моделовања, а даље истраживање заснивамо на констатацији да свака настала итерација модела чини један прототип у процесу архитектонског пројектовања. Савремене софтверске платформе и наменски алати који су развијени применом рачунарских језика, нуде решења за



итеративну структуру процеса пројектовања, путем параметарске контроле геометријских ентитета. Данас, пројектант може лако да произведе серију дигиталних модела, од којих сваки може бити консистентно евалуиран и потом адаптиран у следећу итерацију која ствара информације за унапређену верзију пројекта. Након иницијалне инвестиције времена и знања ради успостављања итеративне структуре, процес архитектонског пројектовања се може развијати путем серије прототипских модела који настају у оквиру једне исте линије истраживања. Бенефиције се огледају у могућностима за постизање опсежнијег решења и темељнијег разматрања проблема. Општеприхваћено правило је да више проба гарантује бољи резултат. Међутим, примена прототипских модела такође означава методолошка померања у архитектонском пројектовању, која подразумевају измештање фокуса са једног на мноштво решења, са једне на серију форми од којих је свака развила властите особености, али на основу евалуације своје претходнице. Запажамо да итеративна структура процеса пројектовања не сугерише примену норматива или понављања, већ развој путем континуалног усавршавања и адаптације према датом контексту. На овај начин, пројектант може да се ослони на развој иницијалне идеје путем серије прототипских модела, од којих сваки генерише информације за унапређење пројекта. Такве информације могу бити неочекиване, могу имати генеративне капацитете и могу условити значајне и непредвидиве промене у процесу архитектонског пројектовања, могу довести до решења која се заснивају на истраживању и не припадају успостављеним архитектонским типологијама.

Међутим, улога прототипских модела није искључиво везана за примену система за рачунарски помогнуто архитектонско пројектовање, већ напротив - она се једнако везује за продукцију физичких модела. Ово додатно усложњава њихову улогу и укључује непосредно разматрање проблема које везујемо за реализацију већ током раних фаза концепције архитектонских пројеката. У оквиру прве главе, дискутовано је о значају физичких или аналогних модела у процесу архитектонског пројектовања, услед непосредног рада са градивним материјалом и могућности спровођења истраживања у пројектовању просторних форми које се не заснивају на геометријским одредницама, већ на иманентној способности материје да се самостално организује. Сада, кроз разматрање улоге прототипског модела у развоју адаптивних принципа и итеративне структуре процеса

архитектонског пројектовања, вршимо синтезу претпоставки и запажања које су начињене током анализе улоге аналогног (глава I) и перформативног (глава II) модела.

### 3.2 Преглед релевантних техника и стратегија моделовања

Током последњих неколико година, у домену истраживачки оријентисаног пројектовања, видљива је појава прототипа, у виду модела без размере који су произведени искључиво ради испитивања архитектонских идеја или процеса. Опсесија дијаграмом, која је била доминантна током претходног архитектонског дискурса, сада је замењена истраживачком методологијом која се заснива на продукцији модела, чија улога није условљена постојањем везе са оригиналном појавом коју тај модел представља. Конструкција прототипских модела је сложен подухват, који захтева (значајан утрошак времена, пројектантске вештине и обухвата примену савремене дигиталне технологије у процесу концепције и реализације, или се веома често заснива на развоју нове, у грађевинској индустрији још увек непостојеће, технологије. Упркос томе, прототипски модели немају утилитарну сврху, не пружају заклон било какве врсте и не испуњавају било коју другу примордијалну сврху изграђених објеката. Са друге стране, разлози за њихову продукцију такође превазилазе потребу за чулним доживљајем, која је својствена за уметничка дела. Њихова улога је једнако удаљена од репрезентативне улоге архитектонске макете, као и потребе за остваривањем визуелног утиска на посматрача, што је једна од суштинских карактеристика уметничких инсталација. Природа прототипских модела је истраживачки оријентисана и њихова улога лежи у испитивању области које ће тек у будућности постати предмет интересовања архитектонске праксе.

Дискусију о улози прототипског модела у развоју адаптивних принципа у архитектонском пројектовању заснивамо на прегледу техника и стратегија моделовања које развија француски архитекта и истраживач Марк Форнес (Marc Fornes), кроз израду низа прототипских модела сложених структура које чине самонесеће и двоструко закривљене површи. У периоду од три године, Форнес усавршава технике пројектовања и конструкције оваквих структура путем израде серије прототипова од алуминијумског материјала. Његов рад се заснива на

паралелној примени знања из области архитектонског пројектовања и рачунарског програмирања, и односи се на истраживање проблема који се везују за питања морфологије, материјализације и конструкције у архитектури. Значајан број Форнесових експерименталних пројеката реализован је у виду прототипских модела, чија је израда документована од стране аутора и чини примарни извор информација за ово истраживање. Секвенца развоја, која повезује ове пројекте, пружа доказ о еволуцији технике и методолошком развоју стратегије моделовања. Преглед обухвата четири реализована модела: „n|Edg”, „n|Strip”, „Y/Surf/Struc” и „nonLin/Lin”.

### 3.2.1 Израда прототипских модела „n|Edg” и “n|Strip”, Marc Fornes

Преглед техника и стратегија моделовања које развија француски архитекта и истраживач Марк Форнес, почињемо приказом прототипских модела чијом реализацијом је покренута линија истраживања која се односи на развој разумевања морфологије двоструко закривљених површи, сачињених од тројних сегмената, облика латиничног слова „Y“. Међутим, ово истраживање чини интегрални део истраживачког рада који се одвија знатно дуже, од 2004. године, и из кога је готово немогуће издвојити засебне целине. Проблем геометријске дефиниције и материјализације површи путем развоја наменског програмирања и примене дигитално засноване фабрикације, представља централно питање у раду студија THEVERYMANY, чији је оснивач Форнес. Специфичност приступа обликовању, који Форнес развија серијом експеримената и назива „текстуално засноване морфологије“ (Fornes, 2008), захтева паралелно познавање две области: архитектонског пројектовања и рачунарског програмирања. Контекст овог истраживања чини проблем који у архитектури настаје током деведесетих година прошлог века, појавом нових, дигитално заснованих, пројектантских алата у виду софтверских платформи које су омогућиле експанзију просторне имагинације и концепцију геометријски комплексних облика, а чија реализација захтева сасвим нове технике производње и развој бољег разумевања карактеристика грађевинских материјала (Kolarevic, 2003).

Метод реализације двоструко закривљених површи, за који се опредељују Форнес и други истраживачи, јесте геометријска реконструкција површи путем

великог броја планарних елемената, који се могу сачинити, или прецизније речено исећи, од плочастих грађевинских материјала. Сâм процес реконструкције се заснива на описивању и контроли геометрије површи путем великог броја референтних тачака, на основу којих је одређен облик и позиција планарних елемената. Густине референтних тачака одговарају степену закривљености површи. Већа закривљеност површи захтева финију резолуцију, односно већи број референтних тачака, што за узврат резултује већим бројем планарних панела. Путем континулане адаптације облика површине, врши се успостављање оптималног односа између укупне геометрије површи и броја, облика, и диспозиције планираних панела. Процес моделовања се окончава реконструкцијом површи на основу оптималног броја планарних панела, који се могу исећи од плочастих материјала, као што су алуминијум, лим, иверица, шпер и слично. Проблем неминовно великог броја различитих компоненти је превазиђен употребом „рачунарске нумеричке контроле“ (*Computer Numeric Control*) - машина за сечење материјала, које омогућавају аутоматизовану производњу и делимично елиминишу потребу за стандардизованим и модуларним елементима у архитектури. Најједноставнији начин реконструкције двоструко закривљене површи применом планарних елемената спроводи се помоћу триангулисане матрице, пошто сваке три тачке на површи одређују једну раван.



Слика 3.2.1.1 Прототипски модел „n|Edge“, Marc Fornes 2009. Фото Francois Lauginie.

Током 2009. године, Форнес је реализовао „n|Edg“ модел, ради тестирања процедуре реконструкције геометрије дупло закривљених површи применом полигоналних планарних елемената. За разлику од најједноставније и стандардно прихваћене триангулисаних реконструкције геометрије површи, ово решење се заснива на полигоналној матрици коју дефинишу планарни елементи са вишеструким бројем ивица. Проблем који се јавља током процеса монтаже структура, које се састоје од великог броја различитих елемената, односи се на велики утрошак времена на њихово повезивање, упркос аутоматизованој нумерацији елемената и планирању активности (Forens, 2009). Процедура реконструкције површи „n|Edg“ модела, заснива се на протоколу који умањује број елемената, без компромитовања иницијалне геометрије двоструко закривљене површи. Већи број ивица омогућава мањи број панела који су неопходни за реконструкцију површи. Мањи број елемената захтева мањи број спојева, што значајно олакшава процес монтаже (Forens, 2009). Запажено је да није јасно дефинисана граница између процеса концепције и реализације модела. Реализација модела се подједнако заснива на пројектовању путем примене компјутерских језика, као и на практичном раду који се састоји од монтаже алуминијумских панела који су спојеним металним нитнама. Рачунарски скрипт је осмишљен на основу практичних сазнања и потом непосредно примењен у решавање конкретних проблема везаних за конструкцију модела.

Следећа итерација модела, која носи назив „n|Стрип“, реализована је 2010. године. У оквиру исте линије истраживања, која се бави развојем разумевања морфологије површи, настављено је испитивање могућности за даље умањивање броја елемената који су неопходни за материјализацију двоструко закривљених површина. Реализација прототипског модела „n|Стрип“, заснива се на примени протокола за реконструкцију површине путем примене елемената у виду трака, уместо полигона који су примењени на моделу „n|Edg“. Услед оваквог решења, процес конструкције модела се одвијао знатно брже (Forens, 2010). Поређење између модела „n|Edg“ за који утрошено је 22 табле алуминијума, димензија 1.2x2.4 метара, и чија монтажа је трајала 10 дана, са моделом „n|Strip“ за који је утрошено је 10 табли алуминијума и чија монтажа је трајала 3 дана са сличним бројем учесника, указује на увећање ефикасности. Приближно дупло мањи модел, реализован је троструко брже. Модел „n|Edg“ конструисан је од 2967

полигоналних панела, док је модел „n|Стрип“ сачињен од само 501. тракастог панела (Forens 2010).



Слика 3.2.1.2 Прототипски модел „n|Strip“, Marc Fornes 2010. Фото Francois Lauginie.

Оба модела, „n|Edg“ и „n|Strip“, представљају успехе и важне прагове у укупном току истраживања. Међутим, у периоду који раздваја реализацију ова два модела, Форнес је спровео низ експеримената којима је тестирао алтернативне технике геометризације двоструко закривљених површи, и испитао могућност примене других материјала за исте сврхе. Иако ови експерименти нису сви били подједнако успешни, на основу њих су генерисане значајне информације и стечена важна сазнања. На пример, дрвена конструкција предвиђена за Јунион Сквер (Union Square) у Њујорку, обрушила се под сопственом тежином пре завршетка монтаже.

### 3.2.2 Израда прототипског модела „Y/surf/struc“ и „nonLin/Lin“, Marc Fornes

Прототипски модел „Y/surf/struc“ је реализован почетком 2011. године, за потребе сталне поставке Центра Помпиду (Centre Pompidou) у Паризу. У великој мери, овај експеримент се надовезује на сазнања стечена путем претходно



описане реализације модела „n|Strip“. Као и претходни модели у оквиру ове серије, модел „Y/surf/struc“ је конципиран као морфолошки експеримент који испитује могућности површинских структура. Међутим, фокус истраживања је сада усмерен на развој конструктивних капацитета површи и успостављању самоносећег система. Суштина прототипског модела „Y/surf/struc“ се заснива на превођењу морфолошког стајна површине у конструктивну мрежу (Fornes, 2011).

Читав модел се састоји од тројних сегмената у облику латиничног слова Y, који се надовезују један на други и чине целину у оквиру које их више није лако препознати као засебне сегменте. Према Форнесовим речима: „Морфологија модела се заснива на променама, алтернацијама између раздвајања и спајања“... Логика модела се заснива на проблему „како једно може постати два, и како два могу постати једно“ (Fornes, 2011). Иницијални облик површи је одређен према задатом окружењу и на основу конструктивне стратегије коју условљавају позиције погодних ослоначких места. Након тога, извршена је континулана адаптација облика површи у потрази за оптималним решењем за реализацију модела путем примене тракастих планарних панела од алуминијума, на основу процеса који је заснован на примени наменског програмирања и који је описан у претходном поглављу.



Слика 3.2.2.1 Прототипски модел „Y/surf/struc“, Marc Fornes 2011. Фото Brice Pelleschi

Приказ прегледа техника и стратегија моделовања које развија Марк Форнес у оквиру истраживања, а чији је централни проблем морфолошко разумевање сложених површи, окончавамо анализом модела под називом „nonLin/Lin“, који је реализован 2011. године за потребе сталне колекције Регионалног фонда за савремену уметност (*Fonds Régional d'Art Contemporain FRAC*) центра у Орлеану. Приближне димензије овог прототипског модела обухватају габарит димензија, 10x6 метара, док његова висина досеже 4.5 метара. Састављен од 40 сегмената, које сачињава 6367 тракастих панела, за чије је прављење утрошено 145 панела алуминијума димензија 1.2x2.4 метара. Процес монтаже је трајао неколико недеља. По свему приказаном, овај модел представља синтезу претходно стечених искустава током реализације серије модела, који примењују морфологију површи у стварању просторних окружења. Примена знања које је стечено током израде модела из серије, коју чине модели „n|Edg“, „n|Strip“ и „Y/surf/struc“, укључује технику превођења геометрије двоструко закривљених површи у информације које се могу применити ради њихове реализације (Fornes, 2011). Слично као и у претходним експериментима, применом наменског програмирања, геометрија површи „nonLin/Lin“ модела је реконструисана путем тракастих панела, који могу бити изрезани од плочастих материјала.

Међутим, техника реконструкције двоструко закривљене површи мора бити прилагођена за сваки нови модел. Уместо процедуре која омогућава прилагођавање индивидуалних компоненти према геометрији задате површи, Форнесова техника се заснива на симултаној и координираној примени више процедура, које су формулисане путем примене наменског програмирања (Fornes, 2011). Форнес објашњава своју технику моделовања као производ два различита вида деловања, које назива дистрибуирани и хијерархијски (Fornes, 2011). Овим путем укупна геометрија модела се континуално адаптира, путем процеса који се одвија тако што се иницијална површ дели на мање сегменте, а затим поново спаја у једну кохерентну целину. Другим речима, у овом аутоматизованом процесу који контролише наменски развијени рачунарски протокол, облик површи осцилује између стања поделе и уније, све до успостављања оптималног решења. Стање поделе омогућава да се велики број специфичности третира засебно према локалним условима, док стање уније омогућава синхронизацију оваквих



специфичности које би остале неусаглашене уколико би се проматрале засебно, свака за себе. Модел „nonLin/Lin“ Форнес описује као „нелинеарну структуру“, позивајући се на морфолошко стање које карактеришу сталне промене и које се у областима физике и механике користе за тумачење настанка сложених структура.



Слика 3.2.2.2 Прототипски модел „nonLin/Lin“, Marc Fornes 2011. Фото Francois Lauginie.

Димензије модела „nonLin/Lin“, уз сложеност подухвата његове реализације, сугеришу темељније разматрање његове улоге и значаја у оквиру методолошких одредница процеса архитектонског пројектовања. У опису овог пројеката, Форнес (2011) користи назив „прототипска архитектура“, како би појаснио разлоге због којих пројектује и конструише серије модела у пуној размери. Свакако, његов рад не представља усамљени пример, јер можемо приметити да израда физичких прототипских модела чини све учесталију праксу у савременом истраживачки оријентисаном, пројектовању. Потреба за даљим проучавањем улоге прототипских модела у процесу архитектонског пројектовања лежи управо у испитивању могућности за приближавање методологија истраживања и пројектовања у архитектури.

### 3.3 Проблеми у пројектовању путем примене прототипских модела

Идентификацију проблема у пројектовању путем примене прототипских модела, заснивамо непосредно на приказаној анализи прототипског модела „nonLin/Lin“ и везујемо за запажање да овај модел није сачињен путем аналогije са предметом или појавом изучавања, већ да он сâм чини предмет истраживања. Такође, запажено је да израда модела „nonLin/Lin“ није везана за одређену величину и да су његове димензије и облик, у одређеној мери, условљене његовим сопственим окружењем. Проблем односа између модела и оригинала отвара могућност шире дискусије. У формату кратке приче, која је приписана фиктивном аутору и датуму, под називом „О тачности науке“ (*On Exactitude in Science*), Хорхе Луис Борхес (Jorge Luis Borges) идентификује идеју о реализацији модела у пуној величини објекта који тај модел представља, а затим указује да је такав модел аутономан и да његов значај, упркос његовој иницијалној намени, превазилази сврху репрезентације. Превод Борхесовог текста, у целисти, гласи:

„У том царству, уметност картографије достиже перфекцију, тако да је мапа једне провинције покривала читав град, а мапа царства, читаву провинцију. Временом, чак и такве незамисливе мапе су постале недовољне, и удружење картографа сачинило је мапу царства чија је величина одговарала величини царства, и која је представљала сваку његову тачку. Наредне генерације, које нису биле толико заинтересоване за изучавање картографије као њихови преци, нису имале користи од мапе, и без неког жаљења, препустиле су је немилостима сунца и зима. У пустињама Запада чак и данас постоје остаци мапе, у којима су настањене животиње и просјаци. У читавој земљи не постоје друге географске реликвије“ (Borges, 1946).

*(In that Empire, the Art of Cartography attained such Perfection that the map of a single Province occupied the entirety of a City, and the map of the Empire, the entirety of a Province. In time, those Unconscionable Maps no longer satisfied, and the Cartographers Guilds struck a Map of the Empire whose size was that of the Empire, and which coincided point for point with it. The following Generations, who were not so fond of the Study of Cartography as their Forebears had been, saw that that vast Map was Useless, and not without some Pitilessness was it, that they delivered it up to the Inclemencies of Sun and Winters. In the Deserts of the West, still today, there are*

*Tattered Ruins of that Map, inhabited by Animals and Beggars; in all the Land there is no other Relic of the Disciplines of Geography.* Borges, 1946).

У контексту архитектонског пројектовања, питање аутономије модела отвара потребу за разматрањем методолошких одредница које омогућавају пројектовање путем примене прототипских модела. Проблем у примени прототипских модела у архитектонском пројектовању, везујемо за питање доследности између модела и његовог оригинала, и у којој мери је таква доследност условљена применом размере у архитектонском моделовању. У дисциплинама које се баве стварањем, попут архитектуре и индустријског дизајна, идеја о примени прототипских модела свакако није непозната. У индустријском дизајну, прототип се често примењује током развоја неког продукта ради тестирања алтернативних решења. У оваквом контексту, прототипски модели имају улогу у евалуацији производа на основу перформативних аспеката, користе се да би помогли у стицању сазнаја о интеракцији између производа и његових корисника и користе се ради промоције производа. У архитектури, прототипски модели могу бити једнако корисни из истих разлога, али њихова примена није део стандардне пројектантске праксе. Користе се ретко и готово искључиво налазе примену у пројектовању идентичних објеката који се граде серијски, и у великом броју, чиме се оправдава иницијална инвестиција конструкције прототипа у пуној размери.

Ван дер Вордт наводи примере истраживања путем примене прототипских модела у архитектури, која се одвијају током шездесетих година прошлог века у САД и Холандији, ради побољшања просторних окружења у здравственим и казним установама (Van der Voordt, 2005). Он указује на истраживачке иницијативе у оквиру којих су саграђени објекти према варијететним архитектонским решењима, који су потом паралелно испитивани током употребе, путем мерења ефикасности, потрошњи енергије, безбедности и субјективне перцепције корисника. Различита решења су упоређивана на основу остварених квалитета и потребних улагања. Поред опсервација и прикупљања мерних података, у разматрање је укључена и процена корисника путем спроведеног анкетања. Овакве информације су потом употребљене за побољшање пројекта и реализацију нових прототипских модела (Van der Voordt, 2005). Међутим, ради правилне анализе употребе објеката, за овакво истраживање је неопходан дуг

временски период и potrebna je značajna iničijalna investicija koja može biti opravdana jeditno putem realizacije velikog broja istovetnih objekata, čija bi gradnja bila značajno ekonomičnija na osnovu sprovedenih ispitivanja i stечених сазнања. Управо зато, често није могуће градити за потребе тестирања. Овакав приступ је преузет из дисциплине индустријског дизајна, у којој се пројекти реализују у великим серијама истоветних објеката. У индустријском дизајну, прототипски модели се производе у пуној размери и применом материјала који конкуришу за коначну материјализацију објекта. Међутим, у архитектури је то много компликованије јер су грађевински објекти значајно већи и комплекснији. Због тога је у архитектонском пројектовању, концепт примене прототипског модела често прилагођен изводљивом начину истраживачког рада. Промена размере је прва и најочигледнија могућност прављења компромиса, који угрожава оригиналну намеру и изједначава улогу прототипског модела са улогом макете у процесу архитектонског пројектовања, што омогућава само аналогна разматрања организације и материјализације простора. Следеће могуће решење је градња једног сегмента архитектонског пројекта ради тестирања понашања грађевинских материјала и техничких решења, као што су, на пример, детаљи веза или спојева на фасадама. На исти начин, градња објеката који се састоје од великог броја сличних или идентичних јединица, на пример стамбених објеката или хотела, омогућава реализацију једне јединице пре почетка конструкције објекта. Међутим, сва три наведена решења омогућавају само делимичне одговоре и спровођење парцијалних тестова који не генеришу информације које се односе на укупну структуру објеката. Њихов значај у архитектонском пројектовању је неоспоран, али је евидентно да је њихова сврха усмерена само на одређене аспекте пројекта. Уколико прихватимо да је веродостојност прототипског модела пропорционална квалитету информација које настају путем његовог тестирања, и да је непосредно повезана са његовом улогом у процесу архитектонског пројектовања, можемо поставити питање да ли је моделовање у пуној размери, у односу „један према један“, адекватан вид продукције прототипских модела, и како је могуће спроводити овакву врсту истраживања у оквирима архитектонског пројектовања.

### 3.4 Разјашњење улоге модела у пуној размери

Појава наменских лабораторија за израду модела у пуној размери бележи се у архитектонским школама Северне Европе током седамдесетих година прошлог века. Идеја о продукцији модела у својој правој размери има посебан значај у развоју архитектонског образовања из неколико важних разлога. Првенствено, она се односи на развој разумевања односа између онога што је нацртано и онога што је изграђено - проблема са којим се архитекте често срећу тек након школовања. Рад у размери „један према један“, такође омогућава стицање практичног искуства кроз непосредан рад са грађевинским материјалима и примену грађевинских техника. Радом на моделима у пуној размери омогућава се ближа сарадња архитекте и градитеља. Са друге стране, рад у пуној размери, на практичном нивоу, омогућава развој разумевања односа између корисника и изграђеног простора, и подржава развијање оквира за укључивање корисника у сâм процес концепције и реализације архитектонског пројекта.

Почетак институционализованих напора за оснивање „Лабораторија за пројектовање и симулацију простора у пуној размери“ (*Full Scale Environmental Design Simulation Laboratories*), забележен је у неколико земаља. Данска индустријска дизајнерка и истраживачица Бодил Кјаер (Bodil Kjaer, 1987), описује своју посету архитектонским школама у којима су током осамдесетих година прошлог века постојале овакве иницијативе. Међу њима је: Лабораторија на Универзитету у Вагенингену у Холандији основана 1960. године; Лабораторија на Универзитету у Лунду у Шведској основана 1965. године; Лабораторија на швајцарском федералном Институту за технологију у Лозани, основана 1977. године, и Лабораторија при Краљевској академији за архитектуру у Копенхагену у Данској, основана 1985. године (Кјаер, 1987). Још један извештај из истог времена, употпуњује слику, описујући лабораторију у Лунду као просторију са габаритом димензија 8x15 метара и корисном висином од 6 метара, са три стаклене фасаде, која је опремљена покретном платформом и тадашњом техником за документовање истраживачког рада, попут камере формата супер осам (Krantz, 1987). Године 1985. основана је „Европска асоцијација лабораторија за израду модела у пуној размери“ (*European Full-Scale Modeling Association*), која је организовала годишње конференције као платформу за размену искустава међу архитектама и истраживачима.

Последња, у низу конференција, које организује „Европска асоцијација лабораторија за израду модела у пуној размери“, одржана је 1999. године. Временом се вид истраживања путем израде модела у пуној размери показао као неодржив. Ефикасност израде модела у размери „један према један“ доведена је питање појавом нових рачунарски заснованих медија у архитектонском пројектовању. Квалитет информација које током деведесетих година прошлог века почињу да генеришу нови, рачунарски засновани, модели у архитектури, угрожава потребу за израдом физичких модела у истраживачки оријентисаном раду током ове декаде. Крајем деведесетих година, процена ефикасности продукције модела у пуној размери, која је одређена односом испуњености сврхе истраживања, уложеног времена и средстава да се тај циљ оствари, више није била повољна за опстанак лабораторија (Abadi, 1996). Од деведесетих година, рачунарски тродимензионални модели су прихваћени као оправдана алтернатива за продукцију модела у пуној размери, а централни предмет истраживања у области архитектонског пројектовања постаје развој система за „рачунарски помогнуто пројектовање“ (*Computer Aided Design*). Уместо симпозијума које је организовала „Европска асоцијација лабораторија за израду модела у пуној размери“, на годишњем нивоу, настаје низ других симпозијума који се баве проблемом рачунарски помогнутог пројектовања, међу којима су они које организују: Асоцијација за образовање и истраживање рачунарски помогнутог архитектонског пројектовања у Европи (*Association for Education and Research in Computer Aided Architectural Design in Europe eCAADe*), Асоцијација за истраживање рачунарски помогнутог архитектонског пројектовања у Азији (*The Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia CAADRIA*), Асоцијација за образовање и истраживање дигиталне графике у Јужној Америци (*La Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital SIGRADI*), Арапско удружење за рачунарски помогнуто архитектонско пројектовање (*Arab Society for Computer-Aided Architectural Design ASCAAD*) и Асоцијација за рачунарски помогнуто архитектонско пројектовање (*Association for Computer-Aided Design in Architecture ACADIA*) у САД.

### 3.5 Разјашњење улоге система за рачунарски помогнуто пројектовање и производњу (CAD/CAM) у развоју прототипског моделовања

Примена система за рачунарски помогнуто пројектовање, која у архитектури узима маха током друге половине деведесетих година прошлог века, додатно је маргинализовала питање размере у архитектонском моделовању. Уместо моделовања у пуној размери, сада се јавља моделовање без размере. Размера модела постаје ирелевантна и променљива током процеса пројектовања. Уместо кроз размеру, квалитет информација које генерише модел се сагледава кроз ниво детаљности и прецизности са којима је модел начињен. Међутим, идеја која је покренута развојем лабораторија за израду модела у пуној размери, настављена је применом нових дигиталних медија у процесу архитектонског пројектовања. Поред наведених улога у развоју архитектонског образовања (које везујемо за стицање знања о карактеристикама грађевинских материјала, метода конструкције и техника градње), продукција модела у пуној размери је покренула потребу за преиспитивањем методолошких одредница у архитектонском пројектовању, што је додатно продубљено појавом система за рачунарски помогнуто пројектовање. Запажено је да идеја о прототипском моделовању превазилази неопходност за апсолутном репродукцијом предмета истраживања и да се може сагледати кроз потребу за непосредном применом итеративног механизма у оквирима процеса архитектонског пројектовања. Уз развој рачунарски заснованог моделовања, могућност архитектонског пројектовања путем примене прототипских модела, постаје значајно економичнија и изводљивија него раније. Омогућена је концепција архитектонске форме која је везана за променљивост модела путем континуалног низа адаптација, услед чега се јавља потреба за бољим разумевањем адаптивних принципа у архитектонском пројектовању. Са друге стране, расцеп између нематеријалне природе рачунарски заснованих модела и материјалног карактера модела у пуној размери, само привремено доминира у области архитектонског пројектовања.

Примена машина које су „нумерички контролисане путем рачунара“ (*Computer Numeric Control CNC*) и система за „рачунарски помогнуто производњу“ (*Computer Aided Manufacturing*) која у архитектури узима маха одмах након експанзије система за рачунарски помогнуто пројектовање, буди поновно интересовање и потребу за реализацијом физичких модела. Од самог настанка

машина за стерео-литографију, почетком осамдесетих година прошлог века, наменски уређаји за продукцију прототипских модела су примењивани у области индустријског дизајна, ради представљања и евалуирања производа (Jacobs, 1992 p.7). Нешто касније, у архитектури је такође остварена веза између дигиталног и материјалног путем примене „наменских уређаја за продукцију прототипских модела“ (*Rapid Prototyping Devices*), који се заснивају на принципима стереолитографије или „адитивне производње“ (*additive manufacturing*) – виду аутоматизованог обликовања путем слагања великог броја веома танких слојева материјала. Овај процес, познат као „тродимензионално штампање“, омогућава сагледавање просторног и физичког облика, током сâмог процеса његове концепције путем примене система за рачунарски помогнуто пројектовање (Sass, 2004). Међутим, пут тродимензионалног штампања нема много тога заједничког са техником производње или градње која би могла бити примењена у реализацији моделованог објекта. Припрема рачунарског модела за тродимензионалну штампу нема додирних тачака са градњом објекта, иако резултује са опипљивим и физичким производом. Проблем је додатно продубљен чињеницом да наменски уређаји за продукцију прототипских модела омогућавају примену само лимитираног избора градивних материјала, који немају сличне карактеристике као материјали од којих ће пројекат бити реализован. Управо зато, примена наменских уређаја за продукцију прототипских модела, иако игра значајну улогу у остваривању итеративне структуре процеса архитектонског пројектовања и ствара просторну и физичку представу објекта који је моделован, само делимично омогућава сагледавање и испитивање могућности за реализацију, производњу и градњу, архитектонског пројекта. Међутим, машине за стерео-литографију нису једине које су засноване на принципима нумеричке контроле.

Велики број алата и машина, који се примењују у производњи и конструкцији архитектонских пројеката, такође су унапређени развојем рачунарски засноване нумеричке контроле. Такве машине су омогућиле аутоматизовану производњу на основу информација које генеришу дигитални модели, и путем увећане прецизности и ефикасности прошириле су могућности обраде и уградње грађевинских материјала. Овакав технолошки напредак, омогућио је помак у реализацији сложених геометријских облика, које пројектанти конципирају применом нових медија. Међу рачунарски



контролисаним машинама, а које најчешће налазе примену у реализацији архитектонских пројеката, јесу оне чија се радна глава, као што је сечиво или глодало, креће путањама вектора који се називају „три осе“, према правцима координатних оса, или „пет оса“, према правцима координатних оса уз додатну могућност ротације око две осе. У својој књизи „Архитектура у дигитално доба: пројектовање и производња“ (*Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*), Бранко Коларевић појашњава разлику између система за „дводимензионалну производњу“, односно сечење плочастих материјала, са стандардним металних сечивом, ласером или воденим млазом, и система за „производњу путем одузимања материјала“, односно брушење, чија се радна глава или глодалица, креће према принципу три или пет оса (Kolarević, 2002). У периоду од десет година, који раздваја наведено појашњене улоге нумерички контролисаних машина у архитектури и овај научни рад, одвија се непрекидно усавршавање грађевинске технологије у оквиру кога настају нове машине које су засноване на принципима нумеричке контроле, и које омогућавају различите видове прецизније и ефикасније производње и градње. Међутим, овај научни рад нема претензије да продуби ову линију истраживања, већ за циљ има само да идентификује место прототипских модела у процесу архитектонског пројектовања, која је условљена развојем рачунарски засноване нумеричке контроле машина или аутоматизоване производње. Улога савремених прототипских модела се надовезује на улогу модела у пуној размери која је идентификована у претходном поглављу. Тежње за развојем практичног и непосредног разумевања карактеристика грађевинских материјала и техника градње сада су употпуњени потребама за бољим разумевањем и развојем могућности дигитално заснованих технологија.

Употреба прототипских модела је пореметила стандардни процес архитектонског пројектовања који се креће од концепта до конструкције објекта (Burry, 2012). Специфичност прототипских модела, у поређењу са другим архитектонским алатима као што су цртеж, макета и дијаграм, лежи управо у непосредном укључивању аспеката производње и градње у сâм процес пројектовања, што отвара потребу за испитивањем односа између концепције и реализације архитектонског пројекта и преиспитивање традиционално успостављене поделе између ове две фазе. Потреба за даљим проучавањем улоге

прототипских модела лежи управо у испитивању могућности за обједињавање аспеката истраживања, концепције и реализације архитектонских пројеката. Продукција прототипских модела у пуној размери је сложен и захтеван процес који истовремено обухвата аспекте архитектонског пројектовања и градње.

Током 2001. године на Техничком институту у Масачусецу, (*Massachusetts Institute of Technology*), основан је „Центар за бинарне информације и атоме“ (*Center for Bits and Atoms*), са циљем формирања дигитално засноване лабораторије која је опремљена савременим алатима за стварање и мерење у различитим дисциплинама. Према речима Нила Гершенфелда (Neil Gershenfeld, 2005), директора овог центра, иницијатива је покренута ради испитивања могућности продукција физичких објеката према иновацијама које се заснивају на дигиталној технологији. У веома кратком периоду, ова иницијатива се претвара у мрежу лабораторија за дигиталну производњу под називом „Фаблаб“ (*Fablab*), које се заснивају на примени нумерички контролисаних машина. Данас таква мрежа обухвата више од 100 индивидуалних лабораторија које се углавном налазе у оквиру архитектонских школа у великом броју земаља, на свим континентима. Данас, највећи број образовних курикулума у области архитектског пројектовања обухвата примену рачунарски засноване нумеричке контроле машина за производњу.

### 3.6 Закључак

Процес прототипског истраживања се заснива на продукцији серије модела, при чему се након реализације сваког од њих паралелно спроводе *ex post* и *ex ante* евалуација. Сваки од паралелних парова евалуација условљава једну од две могућности: адаптацију модела, или закључак да је постигнут одговарајући резултат, чиме је процес моделовања окончан.

Једна од основних предности примене нових медија и дигиталне технологије у области архитектонског пројектовања јесте могућност бржег и ефикаснијег вида прототипског развоја. Примена система за рачунарски помогнуто пројектовање омогућава развој путем прототипског моделовања, на основу примене адаптивних принципа и итеративне структуре процеса

пројектовања. Међутим, улога прототипских модела није искључиво везана за примену система за рачунарски помогнуто архитектонско пројектовање, већ се једнако везује за реализацију физичких модела. Развојем рачунарски засноване нумеричке контроле процеса производње и градње, стварају се услови за јаснију улогу прототипског модела у процесу архитектонског пројектовања, која обухвата непосредно разматрање проблема реализације, још у раним фазама концепције архитектонских пројеката.

Поред могућности за брже и значајно економичније моделовање, експанзија рачунарски заснованих система за пројектовање и производњу створила је и боље могућности за концепцију облика са комплексном геометријом, што је додатно проширило потребе за истраживањем путем продукције физичких модела. Међутим, примена система за рачунарски помогнуто пројектовање је пореметило значај размере у архитектонском моделовању. Уместо моделовања у пуној размери, сада се јавља моделовање без размере. Сама размера модела постаје ирелевантна и променљива током процеса пројектовања. Уместо кроз размеру, квалитет информација које генерише модел се сагледава кроз ниво детаљности и прецизности са којима је модел начињен.

Формирани закључци о улози прототипског модела у процесу архитектонског пројектовања у овој глави, постају окоснице развоја специфичне технике моделовања која ће бити формирана и испитана у оквиру истраживања кроз пројекат, што је документовано у другом делу ове дисертације.

2. Део

**ИСТРАЖИВАЊЕ КРОЗ ПРОЈЕКАТ И РЕАЛИЗАЦИЈУ СЕРИЈЕ  
ПРОТОТИПСКИХ МОДЕЛА ПРЕМА АДАПТИВНИМ ПРИНЦИПИМА**

Глава IV      **Поставка истраживања путем прототипских модела од еластомера**

<b>4.0</b>	Увод .....	101
<b>4.1</b>	Полазиште истраживања кроз пројекат.....	103
4.1.1	Разјашњење теоријског модела „Поље“ .....	103
4.1.2	Разјашњење теоријског модела „Мрежа“ .....	105
<b>4.2</b>	Разјашњење односа између теоријског и пројектантског модела.....	108
4.2.1	Умрежавање или формирање сложених уређења кроз успостављање односа међу елементима .....	113
4.2.2	Формативни утицај физичких особина материјала..	115
4.2.3	Континуални раст и флексибилност структуре.....	117
<b>4.3</b>	Дефиниција аналогног односа између адаптивности простора и еластичности материјала.....	119
<b>4.4</b>	Преглед карактеристика еластомера, градивног материјала за израду прототипских модела .....	121
<b>4.5</b>	Поставка технике моделовања .....	124
<b>4.6</b>	Поставка итеративне структуре пројектовања и прототипског развоја .....	130
<b>4.7</b>	Закључак .....	132

#### 4.0 Увод

У оквиру другог дела овог научног рада врши се провера постављене хипотезе кроз израду серије архитектонских модела који имају експериментални карактер. Усвојена методологија истраживања у другом делу дисертације је истраживање кроз пројекат у оквиру кога је предвиђена реализација серије прототипских модела чија концепција, израда и анализа чине циклус, који је консистентно документован. Уместо теоријски оријентисаног приступа, који карактерише претходни део студије, сада смо усредсређени на практична питања, која се односе на материјалност и реализацију архитектонских идеја. Путем материјално заснованог испитивања наставља се истраживање улоге адаптивних принципа у концепцији и реализацији сложених просторних организација, структура и окружења. У оквиру поставке истраживања кроз пројекат, износимо претпоставку да адаптивни принципи у архитектонском пројектовању могу бити повезани са еластичним својством грађевинских материјала. Путем истраживања кроз пројекат, утврђујемо утицај променљиве молекуларне структуре материјала на артикулисане и континулане промене архитектонске форме током процеса моделовања. На основу материјално заснованог испитивања, у овом делу студије развијамо наменске алате, технике и методолошке одреднице које омогућавају примену адаптивних принципа током процеса архитектонског пројектовања. Истраживање кроз пројекат се надовезује на теоријску дискусију и анализу из првог дела дисертације. Претходно идентификована сазнања о улогама **аналогног модела** (глава I), **перформативног модела** (глава II), и **прототипског модела** (глава III) у итеративној структури процеса архитектонског пројектовања, овде су испитана и проширена експерименталним путем. Анализа и интерпретација добијених података врши се путем поређења претпоставки, које формулишемо током поставке истраживања кроз пројекат, са запажањима и сазнањима која су остварена током експерименталног дела истраживања, односно током реализације серије прототипских модела.

У четвртој глави је размотрен план за спровођење експерименталног дела истраживања у виду *ex ante* анализе. Дефинисано полазиште истраживања кроз пројекат је засновано на два теоријска модела, која су описана у виду просторних стања „Поља“ (Allen, 1997) и „Мреже“ (Wigley, 2001). Проблеме у концепцији и реализацији сложених просторних идеја попут „Поља“ и „Мреже“ повезујемо са

потребом за бољим разумевањем адаптивних принципа у архитектонском пројектовању на основу чега формулишемо претпоставке, циљеве и задатке истраживања кроз пројекат. Прва група претпоставки, које развијамо током планирања експеримената, везује се за избор еластомера и анализу перформанси овог материјала, кога карактерише велики распон еластичне деформације. Променљивост молекуларне структуре еластомера представља својеврстан извор проблема, али и могућности које повезујемо са применом адаптивних принципа у концепцији и реализацији комплексних и променљивих просторних организација, структура и окружења. Друга група претпоставки се везује за формулацију технике моделовања, која се заснива управо на операционализацији карактеристика предложеног материјала путем алгоритамске логике, која почива на примени иницијалних и емергентних правила у концепцији и конструкцији просторних структура. Трећу групу претпоставки, које развијамо током планирања експеримената, чине оне које се односе на одређивање методолошких принципа у архитектонском пројектовању и према којима се спроводе експерименти у виду секвенце пројектантских радионица.

Путем материјално заснованих испитивања, покренуто је питање даљег развоја архитектонских концепција, које идентификујемо према наведеним теоријским становиштима. Покушаћемо да установимо како је могуће планирати и пројектовати, тако сложене и променљиве просторне организације, структуре и окружења, а затим и да приближимо ова два становишта кроз развој техника моделовања и стратешких принципа у архитектонском пројектовању.

#### 4.1 Полазиште истраживања кроз пројекат

Полазиште истраживања кроз пројекат се заснива на идејама „Поља“ (Allen, 1997) и „Мреже“ (Wigley, 2001) као становиштима на основу којих је покренуто испитивање могућности за концепцију комплексних, просторних организација, структура и окружења, путем примене адаптивних принципа у процесу архитектонског пројектовања и кроз употребу аналогних, перформативних и прототипских видова моделовања. Са једне стране, ова студија тежи да у оквирима своје матичне дисциплине приближи две именоване идеје кроз развој техника моделовања и стратешких принципа у архитектонском пројектовању, а са друге да измештањем проблема истраживања из теоријског у експериментални контекст, што тематски одређује разлику између првог и другог дела ове дисертације, покрене питање даљег развоја архитектонских идеја „Поља“ и „Мреже“ путем материјално заснованих испитивања. Пре него што се упустимо у даље истраживање, покушаћемо да разјаснимо значење оба теоријска модела.

##### 4.1.1 Разјашњење теоријског модела „Поље“

„Стање Поља се односи на множину уместо једнине, на колективно уместо индивидуално, на поље уместо објеката. У својој најкомплекснијој манифестацији, овај концепт се односи на математичку теорију поља, нелинеарне односе и рачунарске симулације еволутивних промена. Стање Поља је свака формална и просторна матрица, која омогућава обједињавање различитих елемената, уз задржавање њихових идентитета. Оно зависи од повезаности на локалном нивоу. Интерне везе међу деловима неког система су кључне док његов облик и границе могу бити променљиве. Стање Поља није хијерархијски уређено, већ је дефинисано сложеним локалним односима. Форма је важна, али не форма објекта, већ форма односа међу објектима“ (Allen, 1997).

Термин „Поље“ са значењем концептуалне структуре, Аллен први пут примењује 1995. године, у оквиру едукативног програма на Универзитету Колумбија (*Columbia University*) у Њујорку, на основу текста „*La Citta Nuova*, Модерност и Континуитет“, који је написао Сенфорд Квинтер (Sanford Kwinter, 1986), према чијим речима: „Поље описује простор за умножавање ефеката. Не



садржи материју, већ функције, векторе и брзине; описује локалне релације, разноликости, хитрине, преношења, покретне тачке, или како је Минковски (Hermann Minkowski) то сажео - описује свет“ (Kwinter, 1986). На основу ове идеје је настао есеј „Од објекта до поља“ (*From Object to Field*), који је први пут објављен у оквиру тематског броја часописа „Архитектонско пројектовање“ (*Architectural Design*) под насловом „Архитектура након геометрије“, а потом је још два пута ревидиран у књигама, које је исти аутор објавио 1999. и 2007. године. У овом тексту Ален проналази паралеле између значења концептуалне структуре „Поља“ и инфраструктурних елемената савремених градова, једнако као између сложених потреба данашњих корисника архитектуре и методологије моделовања и обликовања простора.

Првенствено, Ален (1997) указује на то да стање Поља може бити сагледано као теоријски модел који нуди свеобухватније поимање изграђеног окружења, и пореди идеју о просторној матрици „Поља“ са геометријским уређењима, која се заснивају на примени растера и традиционално доминирају у планирању и пројектовању простора. Ален (1997) тврди да просторне организације које немају централно и хијерархијско уређење, а које су у сталном расту, које настају на основу локалних односа међу својим конститутивним елементима и које могу да прилагоде сопствену структуру окружењу, садрже много већи значај за савремену архитектуру него композиције које настају на основу примене симетрије, понављања, модуларности и пропорција. Међутим, једнако важан, али у тексту недовољно обрађен проблем, односи се на могућности инструментализације оваквог теоријског модела у сâмом процесу архитектонског пројектовања. У књизи „Тачке и линије: дијаграми и пројекти града“ (*Points and Lines: Diagrams and Projects for the City*) идеје из овог текста су повезане са конкурсним пројектима за Корејско-амерички музеј уметности у Лос Анђелесу и Библиотеку Кансаи-Кан (Kansai-Kan) у Јапану. Међутим, Аленов теоријски рад нема за циљ да конкретизује или идентификује могућу примену оваквих идеја, већ само да укаже на потенцијале који оне садрже и да покрене питања која се на архитектуру односе само тактички и стратешки.

#### 4.1.2 Разјашњење теоријског модела „Мрежа“

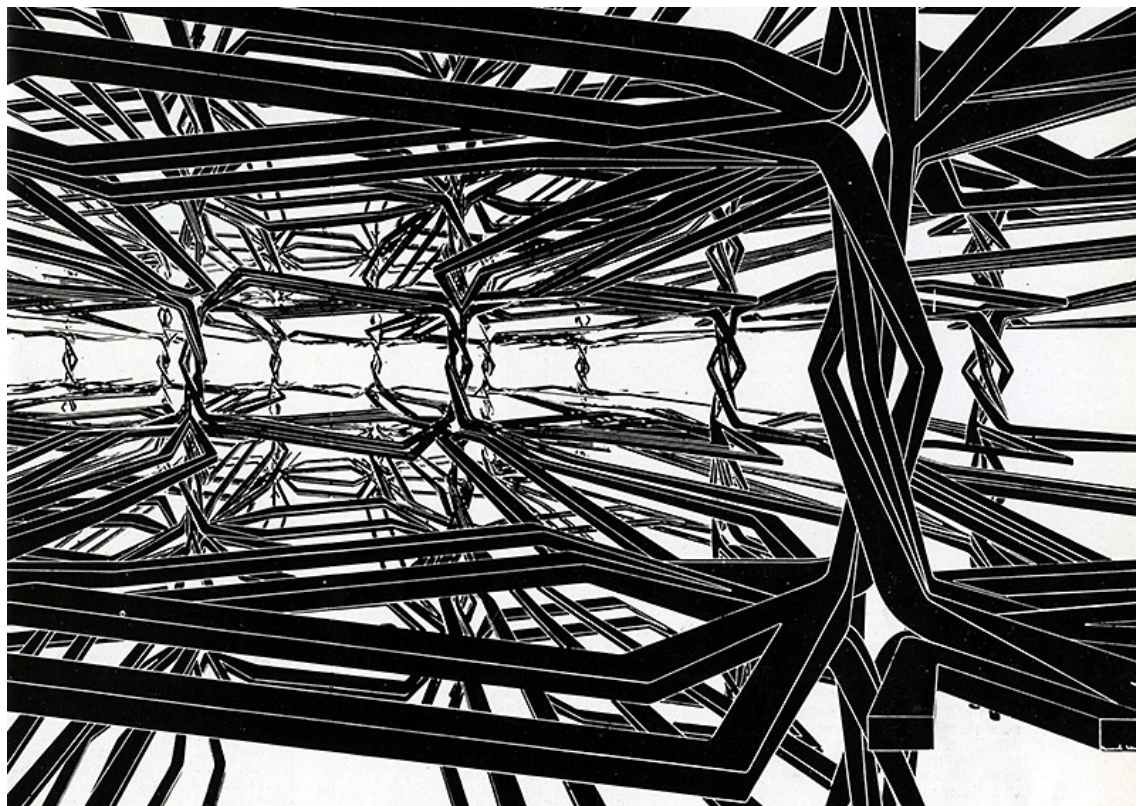
Неколико година касније, Марк Вигли (2001) описује један други теоријски модел, за који користи назив „Мрежа“ и који само на први поглед може бити прихваћен као потпуно различит од теоријског модела „Поља“. Виглијева идеја се, једнако као и претходно описано становиште, заснива на одступању од традиционално прихваћеног уређења простора, које се темељи на геометријским принципима. Управо попут теоријског модела „Поља“, и модел „Мреже“ почива на успостављању односа између конститутивних елемента и поседује потенцијал континуалног раста и прилагођавања сопствене структуре. Још једна важна и заједничка карактеристика ова два становишта јесте супротстављање просторним организацијама, које су засноване на централном и хијерархијском уређењу. Једноставно речено, везу између два теоријска модела можемо приближити путем успостављања аналогије између тачака и линија које формирају матрицу „Поља“, са чворовима или гранама (*nodes and edges*) или теменима и везама (*vertices and connections*) које формирају просторне „Мреже“.

Разјашњење термина „Мрежа“ Марк Вигли даје у есеју и низу предавања, која је одржао у оквиру ширег научног пројекта из области примењених уметности и архитектуре, чији је циљ појашњавање настанка виртуелног простора, а настаје под покровитељством Грејам фондације (*Graham Foundation*). Према његовим речима: „Мрежа је стање које се не може предвидети путем архитектонског пројектовања... Она је попут система испреплетених елемената, који дели заједничке особине са биолошким организмима... Односи се на структуру, која нема ентеријер и екстеријер, што има за ефекат да елементи који чине мрежу могу истовремено бити унутар и ван ње... Мрежа је невидљиво и неухватљиво стање, које је ново за архитектуру“ (Wigley, 2001). Он дискутује о концепту, који се, шездесетих година прошлог века, развио из модернистичке идеје о „хоризонталности“ и пружа преглед идеја, које развијају Бакминстер Фулер (Buckminster Fuller), Маршал Меклуан (Marshall McLuhan), Константинос Доксиадис (Constantinos Doxiadis) и други архитекти и експерти из великог броја различитих области, током низа конференција које су се одржавале на грчком острву Делос. Вигли (2001) нас подсећа да се Фулерово становиште ослања на модел мреже комуникација, који је применљив у архитектонском пројектовању. У својој књизи „Девет ланаца до Месеца“ (*Nine Chains to the Moon*), он развија идеју

о просторној конфигурацији, која је заснована на принципима организације телефонских мрежа (Fuller, 1938). Са друге стране, Вигли (2001) указује да Меклуан, теоретичар комуникација, развија компатибилно становиште према коме мрежа електронских комуникација, као и свака друга технологија, чини један вид телесне екстензије, која нуди могућност конституисања нових просторних система и нове архитектуре. Према овом становишту, постаје очигледно да електронска технологија поприма особине органских система (McLuhan, 1964), а према Виглију (2001), оваква аналогија се може применити на архитектуру. Као потврду овог става, он указује на рад архитекте Доксиадиса, који се кроз глобално успешну праксу бавио проблемом интензивног и неконтролисаног раста градова и био је спреман да укаже на могућност конкретне примене оваквих идеја, тврдећи да су мреже последња и најновија компонента у развоју изграђених средина. Према Доксиадису, питање „Мреже“ би требало да преузме централно место у урбанистичком пројектовању. Вигли (2001) такође указује на то да се њихов рад темељи на доминантним архитектонским тенденцијама тог времена. Теоретске идеје сва три наведена аутора, као и идеје других стручњака из различитих области, публиковане у часопису „Екистика“ (*Ekistics*), указују на интеракцију са концепцијама других доминантних истраживања тог времена, која укључују рад група као што су Метаболисти, Архиграм и Тим 10 (Wigley, 2001).

Посебно је занимљиво то да Марк Вигли (2001) запажа променљиву природу значења термина „Мрежа“, која се кроз историју мењала од анатомске организације, преко система речних токова и канала за наводњавање, па све до значења које се односи на нематеријалне организације, које чине групе људи. Он указује да термин „Мрежа“ садржи потенцијал да обједини различите дисциплине, зато што лако налази примену у различитим значењима, која могу бити биолошка, технолошка или социолошка, а затим закључује да је, у оквиру саме архитектуре, његово значење вишеструко и да се не може редуковати на једноставну визуелизацију концепта, кога је тешко описати (Wigley, 2001). Према његовом становишту, теоријски модел „Мреже“ нуди много више од система формирања физичких веза, и односи се на успостављање токова енергије, информационих система, конструктивне логике и може имати улогу у

обједињавању видљивих и невидљивих аспеката изграђених окружења (Wigley, 2001).



Слика 4.1.2 Цртеж конструктивног система без спојева. Konrad Wachsmann 1952.

Вигли указује на то да је шездесетих година прошлог века успостављена општа сагласност да „Мрежа“ није само дискретно и нематеријално стање, већ видљива карактеристика архитектонске форме и наводи примере међу којима се налазе два пројекта Конрада Вахсмана (Konrad Wachsmann). Први пројекат је просторни конструктивни систем хангара за америчко војно ваздухопловство из 1954. године, који је конципиран као монтажни систем са веома великим распонима и наменски осмишљеним детаљима веза, које су повезивали велики број штапова. Други пројекат је још радикалнија верзија физичке потврде теоријског модела „Мреже“, коју је Вахсман, неколико година раније, остварио у пројекту са студентима на Институту за технологију Илиноис у Чикагу (*Illinois Institute of Technology*), и односи се на конструктивни систем у коме нема диференцијације између хоризонталних и вертикалних елемената мреже, и у коме нема спојева јер су елементи испреплетани између себе, тако да чине структуру налик тканини.

## 4.2 Разјашњење односа између теоријског и пројектантског модела

Након разјашњења основних карактеристика два теоријска модела и преклапања међу њима, покушаћемо да формулишемо план даљег истраживања. Полазимо од запажања да су одмах након настанка, оба есеја постала саставни део великог броја образовних курикулума и истраживачких агенди у архитектури. Другим речима, видимо потврду да је потенцијал оба теоријска модела веома брзо и лако препознат. Међутим, након временског придода, који сада премашује читаву једну декаду, критички гледано, можемо формулисати различит проблем истраживања и поставити следећа питања: Зашто још увек изостају реализације идеја „Поља“ и „Мреже“ у архитектури? Да ли је могуће планирати и пројектовати, тако сложене и променљиве просторне организације, структуре и окружења? Какви пројектантски алати су неопходни да би архитекта могао да сагледа и примени овакве идеје? И, како материјализовати просторне квалитете, које сугеришу овакве концепције? У потрази за одговорима, у овој глави формулишемо план за спровођење серије експеримената, чији планирани резултат чини низ прототипских модела. Циљ израде оваквих модела лежи у развоју нових техника моделовања и стратешких принципа у архитектонском пројектовању, који се заснивају на превођењу именованих идеја на одреднице, које везујемо за перформансе материјала, конструктивну логику и принципе организације просторних окружења.

У првом делу дисертације идентификовали смо улоге три сродна, али различита вида архитектонског моделовања, које сада повезујемо са потребом за разумевањем и пројектовањем нових и сложених просторних организација. Уколико прихватамо валидност теоријских идеја „Поља“ и „Мреже“, и потом покушамо да усмеримо истраживање ка њиховој даљој конкретизацији и примени у архитектонском пројектовању, суочавамо се са питањем превођења теоријског модела у пројектантски модел. Сама интерпретација или приближавање идеја, које настају у оквиру архитектонске теорије, тежи да помогне развој нових начина деловања у архитектонском пројектовању. Разумевање улоге теорије у оквиру овог научног рада, темељи се на општеприхваћеном становишту, према коме значај теорије у архитектури није заснован на успостављању одређених правила, која гарантују успех у пројектовању, већ на прихватању њеног филозофског и научног карактера, који омогућава формулацију апстракција, путем којих

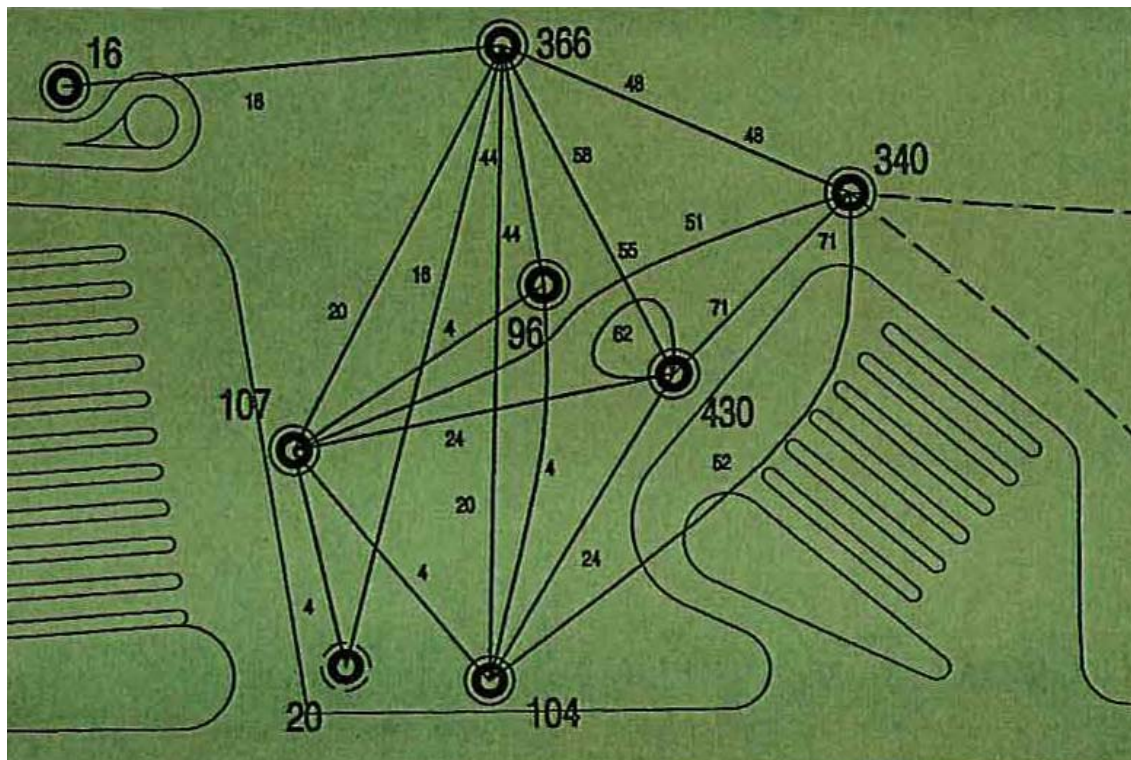
развијамо поимање света, како је то сажео Бил Хилијер (Bill Hillier, 1996), чији истраживачки рад ћемо размотрити у наредном параграфу.

Свака научна дисциплина развија властите технике моделовања помоћу којих се подаци из реалног света апстрахују, а затим артикулишу како би могли бити у служби изучавања релевантних предмета и проблема. Један могући приступ апстраховања и артикулације информација у архитектури се односи на поимање изграђеног окружења путем превођења разумевања просторних карактеристика на симболичко и дискретно значење појмова организације и структуре (*patterns*) простора. Међу раним примерима је покушај асимилације „Теорије графова“ у оквиру архитектонског пројектовања. Граф се састоји од чворова и грана или веза, путем којих је омогућено моделовање различитих односа и успостављање структура, које описују веома различите информације. Употреба графа, као модела за приказ структуре података, првенствено налази примену у математици и рачунарском програмирању. Инструментализација графова у архитектури, претходни развоју интересовања за алгоритамску логику у решавању пројектантских проблема и представља једна од првих планских приступа успостављања просторних уређења, који се заснивају на формирању односа и правила. У књизи „Геометрија окружења: увод у просторну организацију у архитектонском пројектовању“ (*The Geometry of Environment: an Introduction to Spatial Organization in Design*), Лајонела Марцха и Филипа Сидмена (Lionel March and Philip Steadman, 1971) постављена је теза да разумевање „нове математике“, која се заснива на успостављању односа између геометријских облика, садржи потенцијале за сагледавање и планирање знатно сложенијих просторних организација, у односу на хијерархијска и централна уређења, која се заснивају на традиционално прихваћеном разумевању улоге геометрије у архитектонском пројектовању.

Пример непосредне примене графа, или анализе мреже у процесу архитектонског пројектовања, пружа реализовани пројекат за Централни терминал у Арнему, (*Arnhem Central*), који је започет 1996. године. Један од кључних момената у концепцији пројекта је дијаграм, који представља матрицу пешачког кретања са интензитетима саобраћаја и чини морфолошку окосницу архитектонског објекта. Према речима аутора, „Пројекат за централни терминал у Арнему спаја пешачко кретање, саобраћајне системе, осветљење, конструкцију у



један континуални и утилитарни пејзаж“ (Van Berkel and Bos, 1999 p.142). Посебно значајно за ову дискусију је преклапање које се јавља између различитих аспеката пројекта, и улога графа у таквом процесу пројектовања.



Слика 4.2.0.1 Дијаграм пешачког кретања за пројекат Arnhem Central, UN Studio 1996 (van Berkel and Bos, 1999).

Једна од основних предности апстраховања реалног света путем оваквог механизма, лежи у остваривању могућности бољег повезивања различитих аспеката архитектонског пројекта и комуникације између различитих научних области. Могућност интердисциплинарне сарадње, за архитектуру, с једне стране отвара приступ ширем опсегу информација, а с друге омогућава примену нових техника моделовања и обраде података. Још један, сложенији пример превођења просторних карактеристика на симболичко и дискретно значење организације, структуре или конфигурације, јесте техника „Просторна синтакса“ (*Space Syntax*), коју од седамдесетих година прошлог века, развија група истраживача на Бартлет, Универзитетском колеџу у Лондону (*The Bartlett, University College London*). Њихов приступ тежи успостављању веза између просторних структура и низа фактора који се односе на друштвене, економске и еколошке феномене. Идеја се заснива на могућности тумачења просторног окружења применом аналитичке технике моделовања која се темељи на поимању простора путем „успостављања односа, који узимају у обзир друге односе“ (Hillier, 1996). Приступ је у

потпуности усредсређен на развој разумевања изграђеног окружења и тежи да одговори на следећа питања: Какви су изграђени објекти? Због чега су такви какви јесу? Како функционишу и како су настали? Међутим, **то (?)** првенствено чини кроз интерни развој сопствене дисциплине, путем успостављања нових начина описивања и анализирања просторних структура (*patterns*) које могу бити изграђене, односно физичке или самоорганизационе. Према Хилијеровим (1996) речима, техника „просторне синтаксе“, као и свака друга техника пројектовања у архитектури и урбанизму, за циљ има образовање уређења или организације простора. Међутим, она се заснива на конфигурационом моделовању односа између мноштва елемената, путем примене алгоритамски структурираних правила и налази апликацију у анализи већ постојећих окружења, једнако као и у пројектовању нових архитектонских и урбанистичких решења. Током периода



Слика 4.2.0.2 Аксијалана мапа Лондона, Space Syntax 1995 (Hillier, 1996).

од неколико деценија, техника је примењена за решавање проблема који се односе на пројектовање интерне организације стамбених јединица, као и моделовања ресурса и потенцијала читавих региона, као што је модел за државу Кину. Са друге стране, проблем истраживања који дефинишемо у оквиру ове дисертације односи се на испитивање различитог односа између модела и пројекта. Ова студија тежи да путем интерпретације теоријских модела, успостави организацију



и структуру просторних уређења, која има потенцијала да буде пренесена на сâм архитектонски пројекат и потом на изграђено окружење. Блискост овог истраживања са прихваћеним и потврђеним приступом „просторне синтаксе“, огледа се у инструментализацији апстрактног поимања просторне структуре и организације у процесу архитектонског пројектовања.

Оба теоријска модела „Поље“ и „Мрежа“, поред очигледне повезаности са техникама апстраховања простора путем појмова организације, структуре или конфигурације, у себи садрже одреднице које обухватају знатно конкретније значење. Првенствено, ово се односи на обухватање појма материјалности, као сета конкретних и опипљивих карактеристика просторних окружења. Значајну улогу у разумевању теоријских модела „Поље“ и „Мрежа“ имају достигнућа из других, стваралачки оријентисаних дисциплина, које нису спутане ограничењима која постоје унутар грађевинске индустрије. Управо стога се почетак истраживања кроз пројекат темељи на анализи дела која настају у областима визуелних уметности током шездесетих година прошлог века – периоду који према Алену (1997) обухвата неке од веома занимљивих тема, које много касније постају видљиве у архитектонским тенденцијама и фигуришу у различитим теоријским моделима. У есеју „Од објекта до поља“ (*From Object to Field*), Ален (1997) указује на историјске промене које настају у визуелним и теоријским дисциплинама и полази од апстрактних, ликовних композиција, које је производио Мондријан (Piet Mondrian) почетком двадесетог века, да би се задржао на идејама, које развијају различити уметници у САД-у шездесетих година прошлог века. Међу основним карактеристикама рада ових уметника, које најгрубље можемо повезати са правцом минимализма у вајарству, јесте одступање од фигуративног карактера уметничког дела и померање фокуса са самог објекта, односно скулптуре, на однос између уметничког дела и посматрача. Управо у овом раздобљу настаје нови уметнички израз у виду инсталације, чија форма по правилу укључује простор галерије и сâмог посматрача. Током седамдесетих година, границе деловања још једном се проширују да би обухватиле и процес стварања дела, чија видљивост сада постаје доминантна над крајњим производом. Овакав стваралачки процес се састоји из планираних активности, али и насумичних догађаја, који имају једнако важан утицај. Уметник се одриче апсолутне контроле над материјалом који користи и усмерава своје деловање на успостављање услова у оквиру којих ће тај материјал бити обликован. Уместо

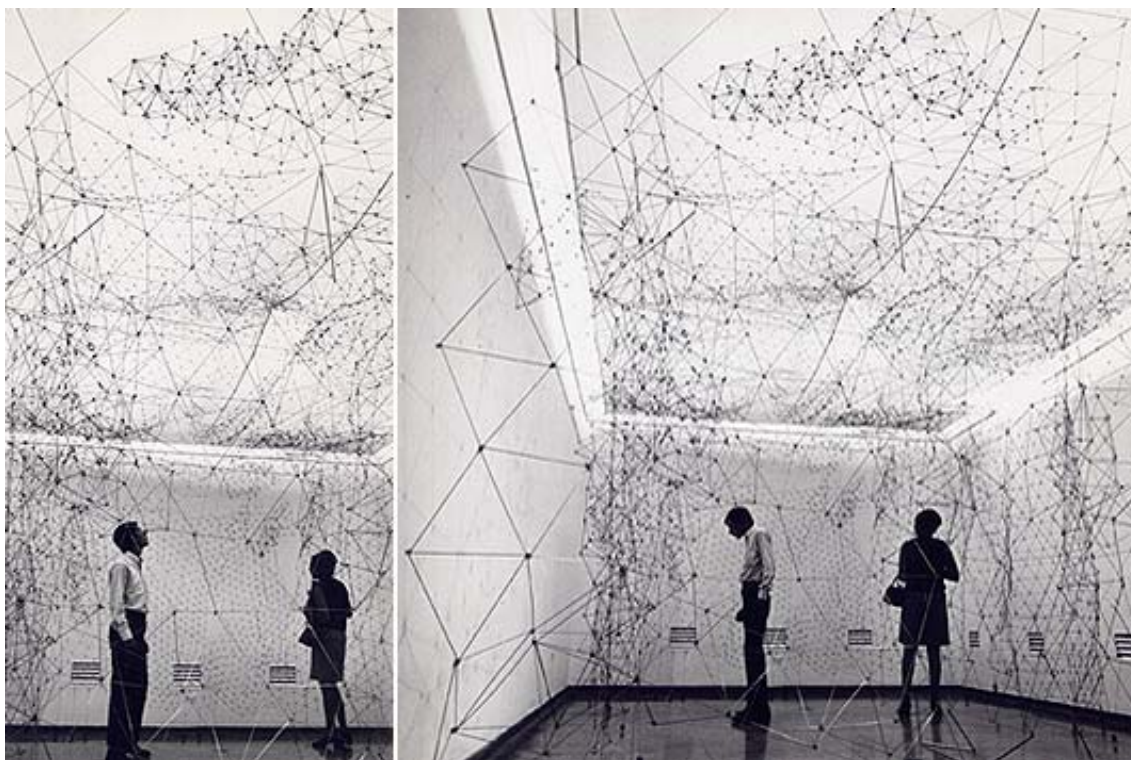
финалне форме, уметничко дело чини секвенца догађаја који дефинишу процес формирања. Концепт се супротставља идеји о просторном уређењу које је засновано на одређеној геометријској шеми. Не односи се на успостављање формалне конфигурације, већ имплицира вид обликовања, који омогућава промене и импровизације.

Повезивање искорака који је начињен у ликовним уметностима током шездесетих година прошлог века са савременим архитектонским тенденцијама представља важан утицај и извор информација за концепцију истраживања на коме се заснива овај сегмент дисертације. Такав утицај се првенствено огледа у избору материјала, размере и окружења модела, који ће настати током истраживања кроз пројекат. Претпоставке под којима су конципирани и спроведени експерименти се надовезују на идентификацију и анализу радова три уметнице: Гертруд Голдшмит Гего (Gertrud Goldschmidt Gego), Ева Хесе (Eva Hesse) и Мира Шендел (Mira Schendel).

#### **4.2.1 Умрежавање или формирање сложених уређења кроз успостављање односа**

Венецуеланска уметница Гертруд Голдшмит Гего развија специфичну технику рада са просторном формом која настаје спајањем или умрежавањем великог броја линеарних елемената. У раним радовима, она почиње да експериментише са просторним односима тродимензионалних форми и њихових дводимензионалних пројекција. У серији радова названој „Цртежи без папира“ (*Dibujos Sin Papel*), сенке тродимензионалне жичане структуре су пројектоване на површине зидова галерије и тако представљене као њене екстензије у простору галерије. Временом, ови радови прерастају у серију просторних инсталација. Њихов заједнички назив „Ретикулареа“ (*Reticulárea*) је кованица која је настала од шпанских речи „мрежа“ (*reticula*) и „површина“ (*area*). Прва таква скулптура или инсталација, која настаје 1969. године у Музеју визуелних уметности (*Museo de Bellas Artes*) у Каракасу, интегрисана је у излагачки простор галерије и протеже се од њеног пода до плафона. Посетиоцима је омогућено да се крећу у оквиру простора, који оваква структура дефинише, тако да њихова перцепција постаје сложенија и знатно измењена у односу на јасно разграничење које нуди

традиционални однос између посматрача и уметничког дела. Ова структура, као и све друге из „*Reticulárea*” низа, одликује се привидно геометријском конфигурацијом у виду тродимензионалне мреже, која је прилагодљива простору у коме се налази. Током периода од готово две деценије, у различитим галеријама, оне заузимају различите форме и чине континуирани развој једне идеје. Структуре су реализоване у Њујорку 1970. године, Каракасу 1974. и 1980. године, и Франкфурту 1984. године у сличним формама, које су прилагођаване специфичностима датих излагачких простора. По правилу, структуре су сачињене од челичне жице, у виду линеарних компоненти, које су међусобно испреплетане или повезане кружним спојницама. Све инсталације су изведене готово спонтано, без јасно дефинисаног и технички прецизног плана и искључиво кроз непосредно деловање у излагачком простору. У једном забележеном разговору, Гего изједначава процес рада са сáмим уметничким делом, тврдњом: „Мој рад се заснива на деловању“ (Gego, 1980).



Слика 4.2.1 „*Reticulárea*“, Музеј визуелних уметности у Каракасу. Gertrud Goldschmidt Gego 1980. (Fundacion Gego, 2009).

Успостављени метод рада се заснива на обједињавању великог броја индивидуалних компоненти, које нису идентичне, већ само довољно сличне да би их око посматрача разумело као међусобно једнаке. Путем анализе фотографија, лако је утврдити да уметница није усредсређена на прецизно и геометријско

уређење форме, већ да тежи постизању одређених просторних ефеката. Резултујућа структура, која је подједнако и мрежа и површина, нема ентеријер и екстеријер, и посматрач је доведен у ситуацију да не може јасно разлучити да ли се налази унутар или ван простора који структура дефинише. Овакав ефекат повезујемо са Виглијевим разумевањем „Мреже“ и идејама које су постављене као полазишта овог истраживања. С друге стране, техника моделовања коју успоставља Гертруд Голдшмит Гего за потребе реализације одређених просторних стања повезана је са поставком технике моделовања и спровођењем експеримената у оквиру овог истраживања.

#### 4.2.2 Формативни утицај физичких особина материјала

С друге стране, рад америчке уметнице Еве Хесе укључујемо у овај преглед због примене неконвенционалних материјала и ослањања на њихове специфичности ради остваривања уметничког израза. Хесе заузима критички став према минималистички оријентисаним скулптурама, које карактерише јасна геометрија и прецизна индустријска производња. У свом раду, она тежи примени материјала попут фибергласа (стакло-пластика), латекса (гума) и пластике који омогућавају непосредније методе испитивања и спознаје нових формалних могућности. Под утицајем гравитације или неке друге спољашње силе, унутрашња структура оваквих материјала се трансформише, изазивајући одређени пластични ефекат. У низу радова, међу којима су дела под називом „Не још“ (*Not Yet*) и „Уже“ (*Rope*), видимо форме које настају као последица креираних процеса у којима физичке особине материјала имају формативни утицај на крајње дело. Резултујуће форме немају геометријске карактеристике и према свом облику много више личе на органске облике које познајемо из природе, а који настају као последица дејства сплета спољашњих сила из окружења на структуру неког материјалног система. Другим речима, Хесе се ослања на капацитете саморегулације градивних материјала, односно тежње њихове унутрашње хемијске структуре да заузме оптималну конфигурацију. Управо ова идеја утиче на избор еластомера као материјала за спровођење експерименталног дела овог истраживања са циљем да се предвиђена концепција технике моделовања у

великој мери ослони на понашање градивног материјала са изузетно великим и видљивим опсегом промене унутрашње структуре.



Слика 4.2.2 „Rope“, Eva Hese 1970. (Whitney Museum of American Art, 2009).

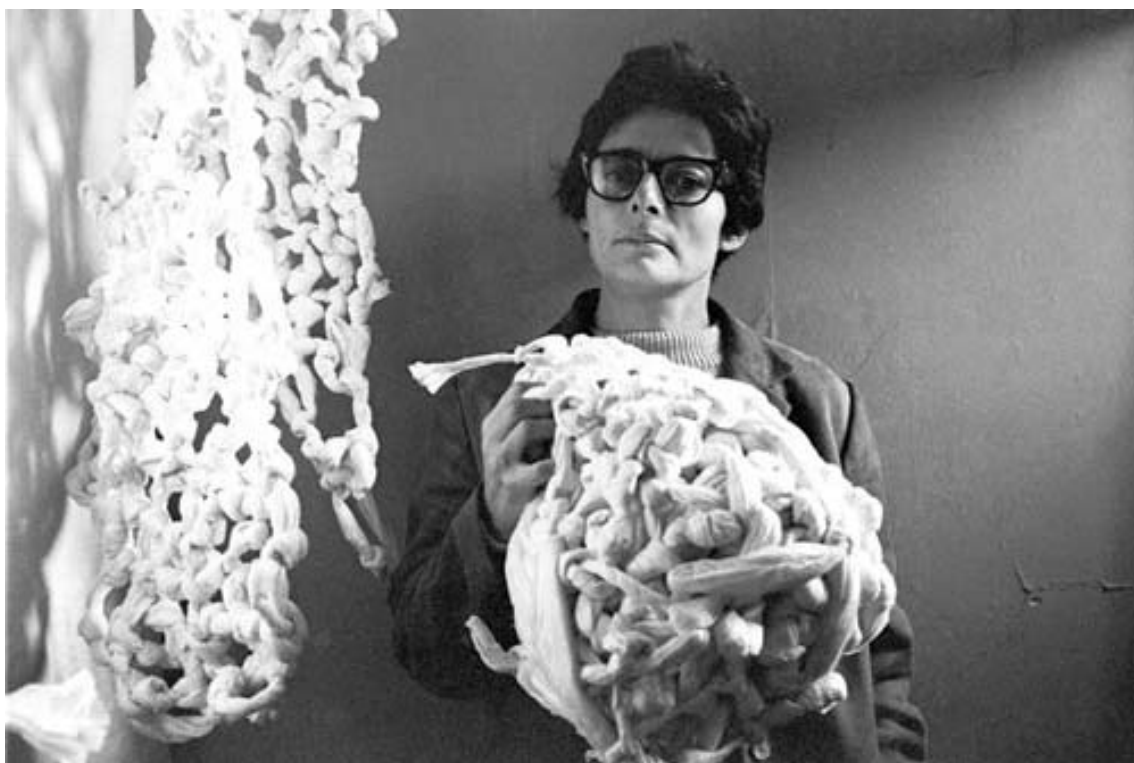
Током кратког временског периода, Хесе преусмерава своје интересовање са дводимензионалних на тродимензионалне проблеме и стално примењује нове технике моделовања. Први део њене каријере обележен је продукцијом цртежа, док се каснији радови више ослањају на просторне интервенције, кроз директан и непосредан контакт са материјалима. Сама Хесе (1970) каже да је кроз скулптуру покушала да ослободи линије заробљене на платну. Међутим, у неколицини каснијих радова видимо повезаност њених цртежа и техника примењених на реализацију скулптура, чији се пуни израз првенствено ослања на могућности које произилазе из карактеристика примењених материјала. Поређењем рендгенских снимака инсталације под називом „Понављање деветнаест I“ (*Repetition Nineteen I*) и цртежа, који је настао две године касније, конзерватор музеја модерне уметности у Сан Франциску (*SFMOMA*), Џил Стерет (Jill Sterrett, 2002) долази до закључка да је Ева Хесе у свом раду успоставила дијалог или двосмерни ток информација између дводимензионалне и тродимензионалне репрезентације, односно да је користила скулптуру да би произвела цртеж, исто као што је претходно користила цртеж да би сачинила структуру.

Попут Гертруд Голдшмит Гего, и Ева Хесе део свог образовања стиче у архитектонској школи, што је један од могућих предуслова у развоју њиховог интересовања за просторност, материјалност и специфичан вид деловања, што можемо довести у везу са проблемима који су релевантни за савремену методологију архитектонског пројектовања, односно проблеме које везујемо за материјализацију теоријских модела „Поља“ и „Мреже“, које смо идентификовали као полазишта овог дела истраживања. Обе уметнице испољавају интересовање за односе комплексних тродимензионалних форми и њихових дводимензионалних представа. Однос између реализованог просторног дела и средства које је примењено за његову концепцију, разраду и презентацију је једно од важних питања за обе уметнице, као и за формулацију технике моделовања за потребе овог истраживања. Очекивани и општеприхваћени редослед активности у процесу архитектонског пројектовања подразумева продукцију модела након цртежа. Међутим управо кроз анализу уметничког деловања Голдшмит и Хесе, кроз серијале „Цртежи без папира“ и „Понављање“, створена је претпоставка да би измењени или наизменични редослед активности током процеса пројектовања могао бити од значаја у успостављању сâме технике моделовања, као и принципа сâме методологије архитектонског пројектовања.

#### 4.2.3 Континуални раст и флексибилност структуре

Трећу референцу овом прегледу чини рад бразилске уметница Мире Шендел, која шездесетих година прошлог века, производи серију тродимензионалних форми ефемерног карактера, које назива „Дрогињас“ (*Drouginhas*), према термину који у португалском језику означава нешто што нема вредност. Ови објекти су налик на текстилне мреже, досежу величину до једног метра и излагани су на веома различите начине. Представљени су у различитим конфигурацијама, које варирају од потпуно компримованих до оних које су развучене до крајњих граница издржљивости материјала. Некад су окачени о таваницу изложбеног простора, некад су постављени на постоље, а некад су били представљени као одевни предмети, које је сâма уметница носила на себи. Карактер ових објеката дозвољава различите видове презентације и перцепције. Они су конципирани и реализовани као форме чија се структура може

прилагодити различитим окружењима и управо из овог разлога их повезујмо са адаптивним принципима, које можемо пренети у оквире методологије архитектонског пројектовања. Још једна карактеристика, која их чини значајним у односу на постављени предмет истраживања, јесте да њихова форма нема центар и периферију, или почетак и крај, и да примењена техника моделовања омогућава неограничен раст структуре у свим правцима.



Слика 4.2.3 Mira Schnadel са радом из серије „Drouginhas“. Фото Clay Perry 1966. (МОМА, 2009).

Следећа релевантна карактеристика дела из ове серије, јесте да су она сачињена од необичног и наизглед непримереног материјала. Форме се састоје од листова пиринчаног папира који су умотани, а затим исплетани како би оформили мрежу. Сасвим неочекивана примена материјала, који је уметници био добро познат, вероватно није последица интересовања и експериментисања са перформансама материјала у истој мери као што је то случај са радовима Еве Хесе, већ само производ стицаја околности. Познато је да је Мира Шендел користила управо овај папир за своје графичке радове, па стога можемо претпоставити да је уметница материјал, који јој је увек био надохват руке, сада применила на сасвим неочекиван начин, али зарад постизања истог симболичког циља. У својим графичким радовима који претходе серији „Дрогињас“, често видимо слова, речи и фразе, које су комбиноване са графичким елементима.

Путем оваквих цртежа, Мира Шендел истражује лингвистичке принципе ради успостављања структура у домену визуелних уметности. Управо зато, Луис Перез-Орманс (Luis Pérez-Oramas, 2009) кустос изложбе „Умршена абецеда“ (*Tangled Alphabet*) у Музеју модерне уметности у Њујорку (МОМА), која уз приказ радова Мира Шендел даје и паралелни увид у деловање аргентинског уметника Леона Ферарија (Leon Ferrari), даје тумачење према коме се увијени листови папира који чине ове форме, могу поистовети са речима, као што се мрежа коју они формирају може поистоветити са говором у структуралном смислу. Овакво тумачење можемо повезати са Виглијевом идејом о значењу „Мреже“, коју смо идентификовали као полазишта истраживања, које се односе на систем успостављања физичких веза, као начина обједињавања оног што је видљиво и оног што је невидљиво

#### **4.3 Дефиниција аналогног односа између адаптивности простора и еластичности материјала**

У радовима Гертруд Голдшмит, Еве Хесе и Мира Шендел, идентификовали смо материјалне аспекте неколико кључних одредница, које повезујемо са претходно разјашњеним, теоријским моделима „Поља“ и „Мреже“, као што су:

- Формирање сложених уређења кроз успостављање односа међу елементима (Голдшмит),
- обједињавање великог броја индивидуалних компоненти (Голдшмит, Шандел),
- формативни утицај физичких особина материјала (Хесе),
- континуални раст и флексибилност структуре (Шандел, Голдшмит).

Значајно је то што кроз радове ове три уметнице, сагледавамо физичке и материјалне форме, чије карактерне особине повезујемо са идејама „Поља“ и „Мреже“, које покушавамо да приближимо у даљем току истраживања. Међутим, једнако је важно имати у виду разлике које постоје између саме природе уметничких дела и архитектонских пројеката. Радови Гертруд Голдшмит, Еве Хесе и Мира Шендел нису архитектонски пројекти. Иако поседују просторне карактеристике и одлике просторних организација, у оквиру овог истраживања, уметнички пројекти нису посматрани као архитектонска дела, већ као прелазни



облик између теоријских модела и могућности развоја конкретних просторних окружења. Приказане просторне инсталације, овде су позициониране у контексту архитектонске теорије и у циљу развоја нових приступа, стратегија и алата у архитектонском пројектовању.

У оквиру дискусије о улози прототипског модела у процесу архитектонског пројектовања, која је приказана у трећој глави ове дисертације, разјашњен је значај продукције модела без размере у архитектонском пројектовању. Путем прегледа радова француског истраживача и архитекте Марка Форнеса (Marc Fornes), указано је на специфичан вид истраживачког рада, који се заснива на продукцији просторних инсталација, ради тестирања архитектонских идеја. Мете Рамсгард Томсен (Mette Rmasgard Thomsen, 2012) из Центра за рачунарске технологије и архитектуру (*Centre for Information Technologies and Architecture*) у Копенхагену, такође указује на могућност примене инсталације у архитектури као начина за испитивање материјалних карактеристика, али и начина непосредног поимања различитих аспеката просторних окружења. Интерпретација радова уметница Гертруд Голдшмит, Еве Хесе и Мире Шендел повезана је са концепцијом технике моделовања и одређивањем формата за спровођења експеримената. Истовремено, радови три уметнице пружају потпору за одређивање обухвата, карактера и размере модела који ће бити произведени током експерименталног дела истраживања. У првом делу овог научног рада, формиран је логички оквир истраживања, према коме су размотрена три вида архитектонског моделовања: аналогни, перформативни и прототипски. У оквиру покренуте дискусије о перформативном моделу, идентификоване су технике моделовања, које се заснивају на алгоритамској логици и успостављању правила на локалном нивоу, ради уређења читаве структуре модела. Такође, идентификован је један број савремених истраживања у области архитектонског пројектовања, која доводе перформансе материјала у везу са принципима просторних организација. Растуће интересовање за питање материјалности у архитектури, помогнуто развојем капацитета за прорачунан и контролу понашања материје, данас евоцира интригантне начине размишљања о комплексним просторним организацијама. Управо зато се формулација плана истраживања кроз пројекат заснива на развоју техника моделовања просторних организација, које се са једне стране заснивају на алгоритамској логици и сету иницијалних правила, а

са друге се ослањају на перформансе материјала и успостављање емергентних правила.

У претходном поглављу смо повезали проблеме у концепцији и реализацији сложених просторних стања попут „Поља“ и „Мреже“ са потребом за бољим разумевањем адаптивних принципа у архитектонском пројектовању на основу чега формулишемо претпоставке, циљеве и задатке истраживања кроз пројекат. У контексту превођења теоријског модела у пројектантски, ради њихове конкретизације и примене у архитектонском пројектовању, постављамо хипотезу да еластичност, као перформанса материјала, може бити аналогно повезана са адаптивним принципима у пројектовању сложених организација, структура и окружења. У односу на кључне одреднице просторних концепција које описују Ален и Вигли, препознајемо улогу еластичног понашања материјала као:

- Важног чиниоца у успостављању повезаности између елемената, који чине структуру,
- кључног фактора у успостављању диверзитетa унутар сâме структуре модела,
- важног чиниоца у омогућавању сталног раста просторних структура
- механизма за системску саморегулацију у односу на екстерно наметнуте утицаје.

Истраживањем кроз пројекат, у оквиру ове студије, ће бити испитана примена еластичног понашања материјала, путем аналогног и рачунарски заснованог моделовања сложених просторних организација, структура и окружења, које карактерише разноврсност и међусобна повезаност конститутивних елемената, као и способност континуалног раста и само-регулације.

#### **4.4 Преглед карактеристика материјала за израду прототипских модела**

Прва група претпоставки, које развијамо током планирања експеримената, везује се за избор и анализу особина градивног материјала, кога карактерише велики распон еластичне деформације. Истраживање се заснива на примени еластомера, материјала који поседује способност промене сопствене форме. Услед своје специфичне хемијске структуре, еластомери имају више заједничких карактеристика са флуидима и гасовима него са чврстим материјалима, који се

најчешће користе у грађевинској индустрији. Њихова основна карактеристика је еластичност, способност да адаптирају своју структуру према неком спољашњем утицају и видно измене свој облик. Управо зато, еластомери налазе примену према идејама о адаптивној архитектури, реактивним окружењима и другим темама у области архитектонског истраживачког рада.

Еластомери припадају групи материјала који се називају полимери. Њих карактерише структура, сачињена од дугих молекуларних ланаца (мономера) који су међусобно повезани попречним или ковалентним хемијским везама, које нису круте и дозвољавају ротацију молекуларних ланца. Њихово кретање или промене на нивоу молекуларне структуре за узврат перципирамо као еластичност. На додир, еластомери су мекани и флексибилни, лако се увијају и извлаче. У нормалним условима, молекуларни ланци еластомера су склупчани, али када на њих делује нека спољашња сила, они се расплету и постају паралелни чиме омогућавају извлачење материјала у правцу деловања оптерећења. Након престанка утицаја силе, молекуларни ланци се ослањају на међусобне попречне везе да би се вратили у првобитно стање.

Еластичност је једна од фундаменталних карактеристика материјала. Она може бити експлицитно изражена, кроз параметре и њихове квантитативне вредности, као што су Јангов коефицијент крутости и граница пластичне деформације материјала. Еластомере карактерише веома ниска вредност коефицијента крутости и веома висока граница пластичне деформације, чиме је дефинисана величина њиховог распона еластичне деформације, односно њихова способност да поднесу значајне физичке деформације и потом се врате у првобитно стање. Поред еластомера, и други грађевински материјали се понашају еластично, али је то много мање видљиво јер је њихов распон еластичности значајно мањи.

Апроксимација путем које можемо пратити еластичну деформацију неког тела јесте Хуков закон, према коме је деформација еластичног тела директно пропорционална сили који на њега делује:

$$F = -kx$$

$x$  деформација еластичног тела (m)

$F$  сила која делује на еластично тело (N)

$k$  константа пропорционалности (N/m)

Тенденција неког материјала да се понаша еластично, означава се као константа пропорционалности  $k$ , која се може математички изразити као однос спољне силе која делује на материјал, и издужења материјала које настаје као последица њеног дејства. Већина грађевинских материјала се понаша према Хуковом закону. Међутим ова апроксимација важи само у границама распона еластичне деформације, у оквиру кога се њихова молекуларна структура враћа у првобитно стање након престанка деловања екстерне силе. Преко границе еластичности долази до пластичне деформације, односно трајне измене молекуларне структуре када линеарни однос између силе и истезања материјала престаје да важи. Зато знамо да се Хуков закон односи само на оне материјале за које важе правила линеарног односа између силе и деформације тела на које она делује. За неке материјале, као што је алуминијум, овај закон је применљив само за један део еластичног распона. За еластомере, Хуков закон није у потпуности адекватан, јер је њихова хемијска структура осетљива на температурне промене и на осцилације у примени оптерећења.

Разумевање природе повратне деформације еластомера, у сваком погледу, није тежак задатак. Међутим, укључивање материјалних карактеристика у процес геометријске концепције просторних организација и структура представља нешто сложенији проблем. Управо зато је симулација понашања еластомера за потребе практичног дела истраживања, који је документован у следећој глави, а заснива се на примени еластомера и експлоатацији њихове способности да промене сопствену форму, редукована на контролу три основна параметра:

- Први параметар је изведен из Хуковог закона еластичности, према коме је деформација сваке индивидуалне компоненте директно пропорционална сили која на њу делује и односи се на линеарно увећање дужине сваке компоненте.
- Други параметар је везан за тенденцију неког материјала да се понаша еластично, односно константу пропорционалности која је различита за сваки материјал.
- Трећи параметар се везује за величину еластичног распона употребљеног материјала, који је дефинисан као лимит, или максимално увећане дужине, што је утврђено емпиријским путем, односно тестирањем репрезентативног броја узорака.

Централно место у експерименталном делу истраживања ће заузимати проучавање еластичног понашања материјала и потенцијала које оно садржи за унапређење процеса концепције и реализације архитектонских пројеката. По својој природи, материјали које карактерише велики распон еластичне деформације се тешко контролишу, што представља својеврстан извор проблема али и могућности, које се везују за адаптивне принципе у архитектонском пројектовању и које се подједнако односе на проблеме реализације и организације просторних форми.

Претпостављамо да ће се разумевање карактеристика материјала и њиховог утицаја на конституцију и конструкцију архитектонске форме, постепено развијати кроз итеративну секвенцу експеримената који ће бити спроведени у виду пројектантских радионица. У првом делу истраживања кроз пројекат, карактеристике материјала ће бити експлоатисане интуитивним путем, али је планом предвиђено да се методологија рада развија током серије експеримената а уместо апроксимативног, рад са материјалима ће постати експлицитан и параметарски контролисан. Очекивани резултати, након последње радионице у низу, укључују и развијање алата путем наменског програмирања и технике моделовања којима ће карактеристике материјала бити артикулисане и параметарски контролисане.

#### 4.5 **Поставка технике моделовања**

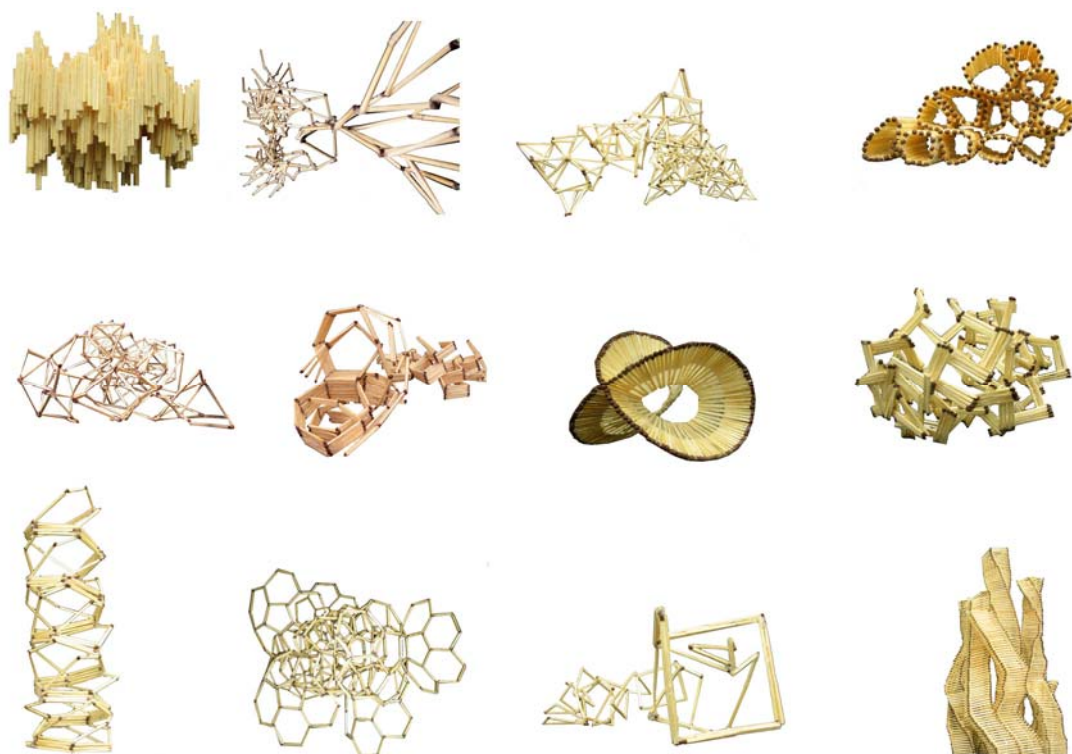
Друга група претпоставки, коју развијамо током планирања експеримената, везује се за формулацију технике моделовања, која се заснива управо на карактеристикама изабраног градивног материјала. Предложена техника се заснива на обједињавању великог броја индивидуалних компоненти од еластомера у једну хомогену структуру према два паралелна принципа. Први или иницијални је геометријска логика константног раста, према којој су компоненте спојене у једну структуру путем геометријски заснованих и систематски примењених правила у виду алгорита, односно серије корака или ступњева раста. Други или емергентни принцип је једнако значајан, али много мање упадљив и односи се на инхерентне особине предложеног градивног материјала. Еластомер је материјал који је намењен овом експерименту управо због своје

специфичне хемијске структуре, која омогућава физичку трансформацију сваке компоненте. Овим путем је предвиђена могућност трансформације првобитно идентичних елемената у међусобно различите елементе, током моделовања.

Идеја за овакву пројектантску радионицу се заснива на вежби која је претходно спроведена три пута у оквиру наставе на Архитектонском факултету између 2007. и 2009. године. Током ових радионица, студенти су конструисали просторне структуре од модуларних елемената, који је чинио дрвце шибице. Остварени резултати су се односили на развој генеративне логике у архитектонском пројектовању, могућности примене алгоритма и приближавању процеса физичког и рачунарског моделовања. Међутим, рад са модуларним компонентама и стриктним геометријским протоколом показао је своја ограничења у могућностима концепције и конструкције просторних форми, па је формирана претпоставка да ће примена еластомера уместо дрвета, отворити низ сасвим нових могућности у будућим експериментима.



**Слика 4.5.1** Модели настали током пројектантске радионице у оквиру наставног рада на Архитектонском факултету у Београду, 2007. године. Студенти: Дончевски Бојана, Грбић Милош, Грујић Јелена, Јовановић Дамјан, Кесић Јелена, Крупез Јелена, Лукић Вук, Мијатовић Александар, Милановић Славко, Поповић Александар, Тодоровић Мирјана, Узуновић Мирјана, Вучић Јелена, Здравковић Бојана, Чизмовић Миљан. Доцент Ђорђе Стојановић.



**Слика 4.5.2** Модели настали током пројектантске радионице у оквиру наставног рада на Архитектонском факултету у Београду, 2008. године. Студенти: Башић Милана, Вавић Ива, Вујовић Вишња, Јанковић Ивана, Кушић Александар, Лапчевић Тијана, Марковић Предраг, Петрушевски Ивана, Пешић Младен, Радосављевић Димитрије, Ранчић Јелена, Симић Маријана, Смиљанић Петар, Церовић Милутин. Доцент Ђорђе Стојановић.



**Слика 4.5.3** Модели настали током пројектантске радионице у оквиру наставног рада на Архитектонском факултету у Београду, 2009. године. Студенти: Арсеновић Мирјана, Дамјановић Ивана, Лојаница Биљана, Максић Горан, Максимовић Урош, Милетић Димитрије, Роксандић Данијела, Салапура Марко, Самарџија Милица, Спасојевић Александар, Стевановић Небојша, Стевовић Владан, Вуковић Марко, Зрилић Бојана, Живковић Милош. Доцент Ђорђе Стојановић.

Планирана техника моделовања се заснива на способности сваке компоненте да прилагоди сопствену форму према статичким условима, за које очекујемо да ће варирати током процеса моделовања и раста структуре. Очекивано је да ће мноштво индивидуалних промена омогућити адаптацију читаве форме модела. Планирана трансформација индивидуалних компоненти ће бити посматрана кроз параметризацију три квантитативне карактеристике материјала које су описане у претходном поглављу. То су: деформација или издужење према дејству силе, модул еластичности и еластични распон материјала. Претпостављено је да ће путем манипулације ова три параметра, бити остварена контрола над процесом адаптације укупне форме модела.

Наредна претпоставка се односи на корелацију између геометријске структуре модела и карактеристика градивног материјала. У оквиру дискусије коју смо забележили у другој глави ове дисертације, идентификован је недостатак пројектантских алата за укључивање перформанси материјала у процес моделовања, односно изостанак утицаја карактера градивног материјала на геометријску конституцију простора. Већина софтверских решења, која се данас примењују у архитектонском моделовању тродимензионалних структура, заснивају се на геометријским принципима који не узимају у обзир својства материјала (Ahlquist, Menges, 2011). Управо је зато један од задатака истраживања кроз пројекат испитивање улоге перформанси материјала у процесу моделовања. Планирана техника ће потенцирати улогу градивног материјала у очекивању да ће иницијална геометријска логика постати рестриктивна и да ће у одређеном тренутку континуалног развоја структуре уступити своје место емергентним правилима, која су везана за унутрашњу конституцију примењеног материјала. У случају потврде ове претпоставке, карактеристике материјала би добиле на значају током процеса моделовања и тако постале доминантне над геометријском логиком у конституцији укупне форме.

Истовремено, предложени приступ се заснива на интердисциплинарном знању, које се развија под називом „симплексити“ (*Simplexity*) и које се темељи на комплементарном односу између сложености и једноставности. Овакав приступ налази примену у тумачењу комплексних појава путем примене једноставних правила (Kluger, 2008). У теорији информатике, овај појам се односи на ефикасност примене алгоритамске логике у решавању проблема (Stolfi, Broder,



1995). У оквиру дискусије о алгоритамски заснованим техникама моделовања у архитектонском пројектовању, која је приказана у другој глави ове дисертације, идентификована је парадигма објектно оријентисаног приступа у рачунарском програмирању (*Object Oriented Programming OOP*), која се може применити у разумевању принципа организације сложених просторних уређења. Као илустрацију, наводимо модел који је произвео Крег Рејнолдс (Craig Reynolds, 1986) у виду рачунарске симулације „понашања мноштва“ (*swarm behaviour*), феномена, који у биолошком свету објашњава окупљање и кретање великог броја животиња, као што су јата птица и риба. Рејнолдсов алгоритамски модел се заснива на принципима колективне интелигенције, која је успостављена путем примене три једноставна правила, на основу којих је регулисано понашање сваког објекта, који чини мноштво или колектив. У овом случају, таква једноставна правила гласе: крећи се у истом смеру као суседни објекат, одржавај близину са суседним објектом и избегни колизију са суседним објектом (Reynolds, 1986). Претпостављамо да, у оквирима архитектонског пројектовања, једноставна правила, која су структурирана у виду алгоритма и аплицирана на велики број објекта, такође могу произвести сложене просторне организације. Истовремено износимо претпоставку да је овакав приступ једнако могуће применити путем технике физичког моделовања као и путем рачунарски засноване симулације.

Применом алгоритамске логике током процеса физичког моделовања и ослањањем на мерне карактеристике одређених материјала, оваква техника нуди могућност сопственог унапређења у виду економичнијег и ефикаснијег вида истраживања путем рачунарски заснованог моделовања. Међу основним задацима планираног истраживања кроз пројекат, истиче се потреба за идентификацијом улоге рачунарске симулације у процесу пројектовања, као и испитивањем могућности за приближавање рачунарских и физичких техника моделовања. Савремене тенденције у истраживачком раду, које обрађују проблем адаптивности, често су условљене применом рачунара. Услед комплексности пројектантског процеса који обухвата итеративну структуру и мноштво промена, решење је наизглед незамисливо без помоћног средства за обраду велике количине информација и аутоматизације потребних процедура. Међутим, врло често видимо да употреба рачунара путем наменског програмирања за потребе архитектонског пројектовања постаје проблем који све више преокупира

архитекте, односно проблем који доминира над основном сврхом и суштинским циљем архитектонског пројекта.

Поставка технике моделовања за спровођење експеримената је утемељена на принципима који проистичу из комбинације физичког и рачунарског моделовања. Логички принципи који су својствени за употребу одређеног пројектантског алата или средства, у овом случају рачунара, преведени су и примењени кроз процес физичког моделовања. Идеја се заснива на Терзидисовом (Kostas Terzidis, 2006) разјашњењу алгорита као начину размишљања у решавању пројектантских проблема. Према његовим речима, алгоритам није искључиво везан за рачунарску технологију, већ се везује за рачунање или процес решавања математичког проблема (*computation*), што се битно разликује од чина уношења, обраде и архивирања информација на рачунарском систему (*computerisation*). Ова дистинкција је веома битна јер ослобађа, искључује и раскида математички и логички процес од машине која омогућавања извршење тог процеса (Terzidis, 2006). Примена ове идеје кроз технику моделовања има за циљ да омогући употребу рачунара у познијим фазама овог истраживања. Синтеза алгоритамске логике у процес физичког моделовања, у спрези са ослањањем технике моделовања на мерљиве карактеристике градивних материјала и законе физике, припрема могућност превођења технике на ефикаснији и економичнији ниво моделовања заснован на примени рачунарске симулације. Међутим у својој иницијалној поставци, техника се ослања на лако применљиве принципе физичког моделовања и непосредан у рад са градивним материјалом, који дозвољавају конструктивну примену интуиције у анализирању и решавању пројектантских проблема.

У уводном делу овог научног рада, поставили смо секундарни циљ истраживања, који се непосредно везује за истраживање кроз пројекат и спровођење експеримената, и односи се на продубљивање концепције и технике моделовања просторних организација, структура и окружења које се састоје од великог броја различитих али усклађених елемената, које су у сталном расту, које поседују капацитет саморегулације и које поседују способност адаптације или промене сопствене форме према спољашњим утицајима. Управо овакве карактеристике просторних организација су идентификоване кроз теоријске

моделе „Поља“ (Allen, 1997) и „Мреже“ (Wigley, 2001). Предвиђена техника моделовања, усмерена је ка бољем разумевању и даљем развоју оваквих идеја.

#### 4.6 **Поставка итеративне структуре процеса пројектовања и прототипског развоја**

Након усвојених претпоставки о примени специфичног градивног материјала и одређене технике моделовања, која се ослања управо на карактеристике тог материјала уз комбиновану примену физичког и рачунарског моделовања, размотрена је трећа група претпоставки, која се односи на одређивање методолошких принципа према којима се спроводе експерименти у виду секвенце пројектантских радионица. Предвиђени ток истраживања се заснива итеративној структури и односи се на реализацију серије прототипа у виду сродних просторних модела, чије су разлике, с једне стране производ очекиване еволуције технике моделовања, а с друге последица специфичности окружења у којима се модели налазе. Пројектовање, израда и анализа оваквих прототипских модела чине циклус који ће бити консистентно документован. Студија се креће од интерпретације теоријских модела, који произилазе из два претходно описана становишта у архитектонској теорији у виду стања „Поља“ (Allen, 1997) и „Мреже“ (Wigley, 2001), и одвија се кроз реализацију серије огледа, у виду пројектантских радионица. Ове радионице су међусобно повезане тако да чине јединствену секвенцу развоја у којој резултати једне радионице утичу на структурирање следеће у низу. Такође, у оквиру сваке од радионица сугерисани радни метод се заснива на итеративној структури процеса пројектовања, у коме се иницијална концепција пројекта развија кроз серију прототипа од којих сваки генерише информације према којима се пројекат постепено усавршава. Такве информације не морају бити очигледне или предвидиве, већ могу донети значајне и неочекиване заокрете током процеса пројектовања. Претпоставка, према којој се спроводи истраживање, јесте да овим путем генерисане информације могу довести до архитектонских решења, која као последица спровођења одређених тестова, не морају бити условљена познатим и усвојеним типолошким одредницама.

Први задатак истраживања, који се односи на развој методолошких оквира, јесте утврђивање улоге адаптивних принципа и испитивање итеративне структуре процеса архитектонског пројектовања. Итеративна структура почива на изради прототипских модела, чија је основна намена стицање сазнања која се потом користе за реализацију следеће итерације. Овакав приступ је применљив у различитим дисциплинама. На пример, итеративни развој је такође методолошки вид развоја софтвера, који почиње иницијалним планирањем и развија се путем цикличних итерација (Larm, Basili, 2003). На овај начин, уместо једног и финалног решења за одређени проблем, резултат пројектовања можемо сагледати као процес адаптације са видљивом структуром, која омогућава континуални развој модела. Путем истраживања кроз пројекат, покушаћемо да истражимо раније формулисану претпоставку о могућностима приближавања истраживачки прихваћеног приступа, који се темељи на примени прототипа, и методологије архитектонског пројектовања.

Други задатак истраживања, постављен у циљу развоја методолошких оквира, односи се на утврђивање видова архитектонског моделовања који омогућавају обједињавање процеса концепције и конструкције архитектонске форме. У трећој глави ове дисертације, дискутовано је о улози прототипа и продукцији модела у својој пуној размери током процеса архитектонског пројектовања. Указано је да се веродостојност материјализације и размере оваквих модела огледа у квалитету информација које они генеришу, али да у архитектури, веродостојност прототипа често није апсолутна услед величине и комплексности грађевинских пројеката. Потреба за изградом прототипских модела у оквиру истраживања кроз пројекат, обухвата појашњење њихове улоге у процесу архитектонског пројектовања. Специфичност примене прототипских модела у поређењу са другим архитектонским алатима као што су цртеж, макета и дијаграм, лежи управо у непосредном укључивању аспеката материјалности у сâм процес пројектовања. На основу анализе радова уметница Гертруд Голдшмит, Еве Хесе и Мире Шендел, постављамо оквири истраживања кроз пројекат и формат за спровођење експеримената у виду реализације прототипских модела. Циљ израде оваквих модела лежи у развоју нових техника моделовања и стратешких принципа у архитектонском пројектовању, који се заснивају на превођењу теоријских модела „Поља“ и „Мреже“ у пројектантске одреднице које везујемо за

перформансе материјала, конструктивну логику и принципе организације просторних окружења.

#### 4.7 Закључак

Након разјашњења теоријских позиција, приказаних у виду просторних стања „Поља“ (Allen, 1997) и „Мреже“ (Wigley, 2001), формулисано је полазиште истраживања кроз пројекат, које спроводимо ради испитивања хипотетичких претпоставки о улози адаптивних принципа у концепцији и реализацији сложених просторних организација, структура и окружења, чије карактеристике везујемо управо за наведене теоријске моделе. Стање „Поља“ је дефинисано као формална и просторна матрица у којој је могуће обједињавање различитих елемената уз задржавање њиховог идентитета. Овакво стање није хијерархијски уређено и заснива се на успостављању интерних веза између елемената неког система. Односи на локалном нивоу су кључни, док укупан облик и границе структура, које настају на основу њих могу бити променљиве (Allen, 1997). На сличан начин, стање „Мреже“ је супротстављено геометријски заснованој организацији простора и заснива се на успостављању структуре путем повезивања великог броја елемената (Wigley, 2001). Проблеме у концепцији и реализацији просторних идеја попут „Поља“ и „Мреже“ повезујемо са потребом за бољим разумевањем адаптивних принципа и њиховом улогом у развијању технике моделовања сложених просторних организација, структура и окружења које се састоје од великог броја различитих елемената, које су у сталном расту, које поседују капацитет саморегулације и које поседују способност адаптације или промене сопствене форме према утицајима из окружења. На основу оваквог полазишта дефинисане су хипотетичке претпоставке које су сврстане у три засебне, али међусобно условљене целине: оне које се односе на карактеристике градивног материјала, оне које се везују за технику моделовања, и оне које се односе на методологију спровођења експеримената. Међутим, услед њихове међусобне условљености, дистинкција између ове три целине истраживања је умањена до те мере да је веома тешко установити јасно дефинисане границе међу њима. Усаглашеност или повезаност између карактеристика материјала, технике моделовања и саме методологије спровођења тестова постаје једна од најважнијих

карактеристика предвиђеног истраживања. У овој глави износимо претпоставку да адаптивни принципи у архитектонском пројектовању, путем аналогije, могу бити повезани са еластичним својством грађевинских материјала. У наредној глави, путем моделовања, испитујемо однос између флексибилне молекуларне структуре материјала и могућности артикулисане и континулане промене архитектонске форме. На основу материјално заснованог испитивања и реализације серије прототипских модела, у следећој глави описујемо развој наменских алата, техника и методолошких принципа, који омогућавају примену адаптивних принципа током процеса архитектонског пројектовања.

<b>5.0</b>	Увод.....	135
<b>5.1</b>	Пројектантска радионица „ <i>Недоследности в.01</i> “, октобар 2010. године, Архитектонски факултет у Београду.....	137
<b>5.2</b>	Пројектантска радионица „ <i>Недоследности в.02</i> “, јул 2011. године, Универзитет у Техерану, програм Архитектонске асоцијације из Лондона.....	140
<b>5.3</b>	Пројектантска радионица „ <i>Недоследности в.03</i> “, октобар 2011. године, Галерија Оzone у Београду.....	149
<b>5.4</b>	Пројектантска радионица „ <i>Недоследности в.04</i> “, јун 2012. године, анекс Куле Небојша у Београду.....	157
<b>5.5</b>	Пројектантска радионица „ <i>Недоследности в.05</i> “, септембар 2012. године, Грађевински факултет у Риједи.....	191
<b>5.6</b>	Закључак.....	193

## 5.0 Увод

Након формулисања плана и претпоставки за извођење истраживања кроз пројекат, у овој глави документујемо низ експеримената спроведених у оквиру пет различитих окружења у временском периоду од две године. Истраживање се одвија путем експерименталног рада у виду пројектантских радионица, које обједињују истраживачки са наставним радом. Читав процес истраживања кроз пројекат је транспарентно извршен. Приказан је развој догађаја, који почињу припремама и завршавају се реализацијом прототипских модела. Забележена су нека од запажања до којих долазимо током спровођења експеримента, као и њихова улога у планирању сваког следећег експеримента у низу, ради остваривања итеративне структуре истраживања. Комбинацијом *ex ante* анализе целокупног циклуса пројектовања и *ex post* анализе добијених резултата, извршена је провера постављене тезе и валидности пројектантских метода утемељених на адаптивним принципима, што је забележено у наредној глави.

На пројектантским радионицама је учествовало приближно осамдесет студената дипломских студија Архитектонског факултета Универзитета у Београду, али и са других универзитета на којима сам ангажован као наставник током овог периода. Огледи су увек били осмишљени и организовани са моје стране, али они не били могући без креативног доприноса и искрене подршке сарадника и студената, којима сам неизмерно захвалан. Допринос сваког појединца у овом раду је у даљем тексту назначен.

У поглављима која следе, описана је провера поставке итеративне структуре процеса пројектовања, предложене технике моделовања, и могућности експлоатације карактеристика специфичног градивног материјала за реализацију комплексних и променљивих просторних модела. Линија развоја током секвенце експеримената се креће од интерпретације теоријских модела „Поља“ (Allen, 1997) и „Мреже“ (Wigley, 2001), ка реализацији серије прототипа у виду просторних модела према специфичним условима одређених окружења. Сазнања стечена током сваке радионице, односно током реализације сваког прототипа, примењена су за структурирање наредне радионице и реализацију следећег прототипа у низу.



Централно место у експерименталном делу истраживања заузима проучавање еластичног својства материјала. Велики распон еластичне деформације примењеног материјала - еластомера, истовремено је сагледан као потенцијал за реализацију адаптивних окружења, и као иницијатор развоја адаптивних принципа у архитектонском пројектовању.

## 5.1 Пројектантска радионица „Недоследности в.01“, октобар 2010. године, Архитектонски факултет у Београду

Прва радионица у низу је осмишљена за шеснаест учесника у оквиру ширег наставног програма за предмет Студио пројекат на првој години Мастер академских студија, на Архитектонском факултету Универзитета у Београду. Вежба је спроведена на почетку семестра, у оквиру временског периода од две недеље, са циљем да код студената покрене размишљање о адаптивним просторним организацијама и упозна их са техникама архитектонског пројектовања које могу бити примењене у даљем току ове наставне јединице.

Кључне карактеристике оба теоријска модела „Мреже“ и „Поља“, које смо поставили као полазишта истраживања у претходној глави, интегрисане су у оквиру пројектантског задатка. Предложени радни метод се заснива на примени лако доступних материјала и техника које не захтевају велико предзнање у области архитектонског пројектовања. Добро познате „гумице“, које се производе у великим количинама и које се управо због своје еластичности примењују за различите практичне потребе, одређене су да постану компоненте за конструкцију комплексних просторних структура.

Након првог непосредног контакта са материјалом, учесници на овој радионици су идентификовали проблем у виду недостатка крутости одабраног материјала, који потиче од његове унутрашње хемијске конфигурације. Прихваћено је да савитљивост еластомера представља тешкоће у планирању било какве самоносеће тродимензионалне структуре и практично елиминише могућност пројектовања, у конструктивном смислу, аутономних форми. Као одговор, током радионице се појављују различите конструктивне стратегије, које у значајној мери одређују форму модела. Стабилност оваквих структура се заснива на принципима статичких система, у којима доминирају силе затезања над силама притиска. Међутим, управо је идентификовани мањак крутости учинио моделе флексибилним и способним да се мењају током процеса пројектовања према варијацијама у диспозицији ослонаца или броју компоненти и веза међу њима или према апликацији екстерног оптерећења. Током радионице, потврђено је очекивање о могућности примене адаптивних принципа у процесу архитектонског пројектовања. Уместо на једно финално и статично решење,

моделовање се односи на успостављање процеса, који су динамични и који се заснивају на променама унутар пројектоване структуре услед прилагођавања њених компоненти.

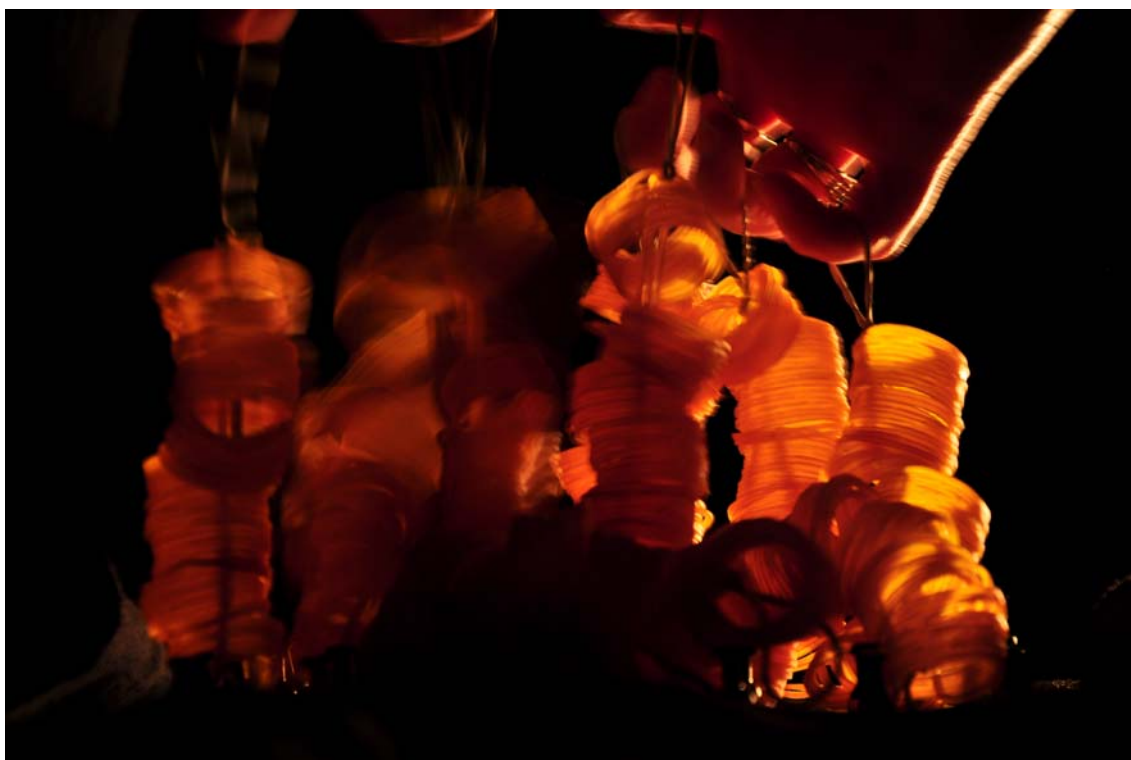


Слика 5.1.1 Модел из серије *Недоследности в.01*, октобар 2010, Архитектонски факултет у Београду. Студент Бојана Гочанин, доцент Ђорђе Стојановић, асистент Милутин Церовић.

У иницијалном делу радионице, сугерисана техника моделовања се односи на успостављање принципа раста структуре и заснива се на умножавању и комбиновању идентичних компоненти према геометријском протоколу. У следећем кораку, студенти су наведени да експлоатишу карактеристике градивног материјала и његову способност да поднесе значајне физичке деформације и потом се врати у првобитно стање. Студентима је сугерисано да покушају да обједине принципе континуалног раста структуре са могућностима њене трансформације. Постављени задатак се односио на проналажење оптималног односа између конзистентне геометријске логике и адаптивног потенцијала структуре, а који се заснива на карактеристикама градивног материјала. Током радионице, тежиште је преоријентисано управо на истраживање адаптивних потенцијала структуре, које смо у том тренутку именовали као „недоследности“. План за спровођење експеримената који су уследили, у великој мери се односи на продубљивање разумевања овог потенцијала путем развоја пројектантских

стратегија и архитектонских алата, који су експлицитни и параметарски контролисани.

Током саме радионице студенти развијају разумевање еластичности као значајне карактеристике сваког грађевинског материјала и испитују могућности повезивања еластичног понашања материјала са успостављањем адаптивних просторних организација и структура. У виду инхерентних особина новонасталог система, еластичност је посматрана као основна карактеристика примењеног градивног материјала, која је пренета на организационе и конструктивне потенцијале читаве структуре модела.



Слика 5.1.2 Модел из серије *Недоследности в.01*, октобар 2010, Архитектонски факултет у Београду. Студент Милица Тасић., доцент Ђорђе Стојановић, асистент Милутин Церовић.

Коначни производ радионице чини серија модела, чија је заједничка карактеристика капацитет да реагују на утицаје из окружења, односно способност да промене своју геометријску конфигурацију под утицајем неке спољне силе и потом се врате у првобитно стање. Модели су направљени без мере и на веома различите начине, али тако да се могу класификовати у неколико типова према иницијално успостављеним правилима раста структуре и начину интеракције између такве структуре и спољних утицаја. Промене структуре модела, засноване на еластичном понашању материјала које изазива

апликација механичке силе, забележене су путем видео записа или низа фотографија.

Резултати радионице су потврдили могућности еластомера као градивног материјала у моделовању сложених, реактивних и диференцираних структура. Испуњено је иницијално очекивање могућности примене итеративних принципа у процесу архитектонског пројектовања. Техника моделовања, путем системски утврђених правила, потврђена је као ефикасна симулација просторног раста. Модели који су настали током радионице су се успешно надовезивали на идеје „Поља“ и „Мреже“, које чине полазиште истраживања.

*Сарадник: Милутин Церковић. Студенти: Снежана Златковић, Милица Тасић, Ружица Јовановић, Анђела Карабашевић, Ивана Пепић, Богдан Обрадовић, Милан Караклић, Бојана Гочанин, Никола Самарџија, Наталија Богдановић, Јасна Шоргић, Даница Маринковић, Јовановић Ивана, Наталија Ушендић, Андреј Жикић и Самарџић Александра.*

## **5.2 Пројектантска радионица „Недоследности в.02“, јул 2011. године, Универзитет у Техерану, програм Архитектонске асоцијације**

Друга радионица у низу је реализована у оквиру наставног програма који организује Архитектонска асоцијација из Лондона, са идејом да прошири свој образовни систем кроз интернационалну сарадњу са различитим партнерима, школама, културним институцијама, наставницама и архитектама. Радионица је изведена у склопу програма на Универзитету у Техерану у Ирану, са шеснаест студената на различитом нивоу школовања. Пројектни задатак је формулисан у континуитету са програмом радионице која је одржана на Архитектонском факултету у Београду у октобру 2010. године. Иста тема истраживања је сада пренета у другачије окружење и град са дугом традицијом занатске производње и богатом трговином, који се успоставио као културни и економски центар на Средњем истоку. Још једна важна разлика у односу на претходну радионицу јесте режим рада, који сада подразумева знатно већи интензитет и целодневни контакт између наставника и учесника током периода од четрнаест дана.

На самом почетку, учесници су упознати са достигнућима из претходне радионице. Представљени су методолошки оквири и релевантне технике моделовања, према којима су студенти формулисали сопствене циљеве истраживања. Искуство у раду са еластомером, стечено у Београду, постављено је као полазиште радионице. Гумице су и овде предложене као модуларне компоненте за конструкцију модела, путем алгоритамски засноване технике. Истоветно као и на претходној радионици, успостављене су различите врста протокола у виду низа једноставних геометријских правила, према којима су индивидуални елементи комбиновани ради стварања сложених форми са видљивом конструктивном и организационом логиком. Врло брзо, резултујуће структуре настају свуда у студију. Већина има форму просторних мрежа, које су рапете међу столовима и столицама. Са великом лакоћом и само након прва два дана рада, постигнут је ниво крајњих резултата из претходне радионице.

У наредној фази радионице, студенти су усмерени ка дубљем истраживању материјалних карактеристика еластомера и потенцијала за развој адаптивних пројектантских стратегија. Тежиште је премештено на истраживање понашања материјала и резултујућих промена архитектонске форме, односно потенцијала које смо као и у претходној радионици назвали „недоследност“. Учесницима радионице је сугерисано да конципирају и пројектују структуре путем експлоатације способности задатог материјала да се истеже, односно мења сопствену конфигурацију према наметнутим утицајима.

Произведени модели још једном потврђују могућности примене адаптивних принципа у процесу архитектонског пројектовања, путем физичког моделовања. Препознајемо да је еластичност, као основна карактеристика задатог градивног материјала, пронашла примену на два суштинска начина у моделима који настају у овом сегменту радионице. Први се односи на директну примену еластичног својства материјала у генерисању покрета и променљивости просторних структура, а други се односи на организациона и конструктивна својства структура, која се само индиректно заснивају на принципима еластичног понашања материјала. Успостављене технике моделовања се у великој мери ослањају на експлоатацију еластичног својства материјала. Као и у претходној радионици на Архитектонском факултету у Београду, запажамо да се већина студената определила за непосредан рад са просторним физичким моделом и

технику моделовања у којој је улога цртежа значајно умањена. Велики распон еластичности материјала омогућава флексибилност у раду, као и значајне димензионалне толеранције током сâмог процеса конструкције модела. Запажамо да елиминација цртежа у процесу пројектовања поједностављује ток рада и умањује потребу за геометријским описом структуре, који се традиционално темељи на планарним пројекцијама.

У следећем кораку, учесницима радионице је сугерисано да оформе тимове, који ће заједнички радити на појединачним истраживачким темама. Укупно шеснаест учесника оформило је пет радних група, које су чинили студенти чији радови са почетка радионице имају заједничке аспекте. Модели су наставили да расту и ускоро су досегли димензије које су захтевале да се радионица пресели у просторију са већим габаритом и већом спратном висином. Две групе су одлучиле да „гумице“ замене сличним, али већим компонентама на бази еластомера, док су преостале три групе наставиле да раде са истим материјалом.

Прва радна група коју чине, Амир Реза Есфехуди, (Amir Reza Esfahuodi), Абудлахасан Карими, (Abolhassan Karimi), Иман Шамели (Imman Shameli) и Мухамед Савадухи (Mohammad Savadkuhi), истражује конструктивне могућности и границе статичке стабилности структура, које чине два преплетена конструктивна система. Пројекат почиње експериментима који се односе на статичку оптимизацију две међусобно повезане структуре, које су формиране по принципу гранања. Систематичне и параметарски засноване студије су спроведене путем израде серије модела од „гумица“, које су рапете унутар челичног просторног рама. Наизглед прекомерно конструктивно решење, пружило је могућност за истраживање карактеристика просторних структура које превазилазе проблеме стабилности и односе се на питања могућности сопствене променљивости. Потенцијал, који се јавља услед примене удвојених конструктивних елемената, употребљен је ради омогућавања промене система, путем истезања једног дела елемената. Током спровођења експеримента, конструктивне карактеристике модела су испитиване на основу варијација у количини и врсти оптерећења које делује на њега. С друге стране, промене у укупној геометрији и броју веза између два система, у спрези са ослањањем на еластично понашање материјала, вршене су ради генерисања и посматрања

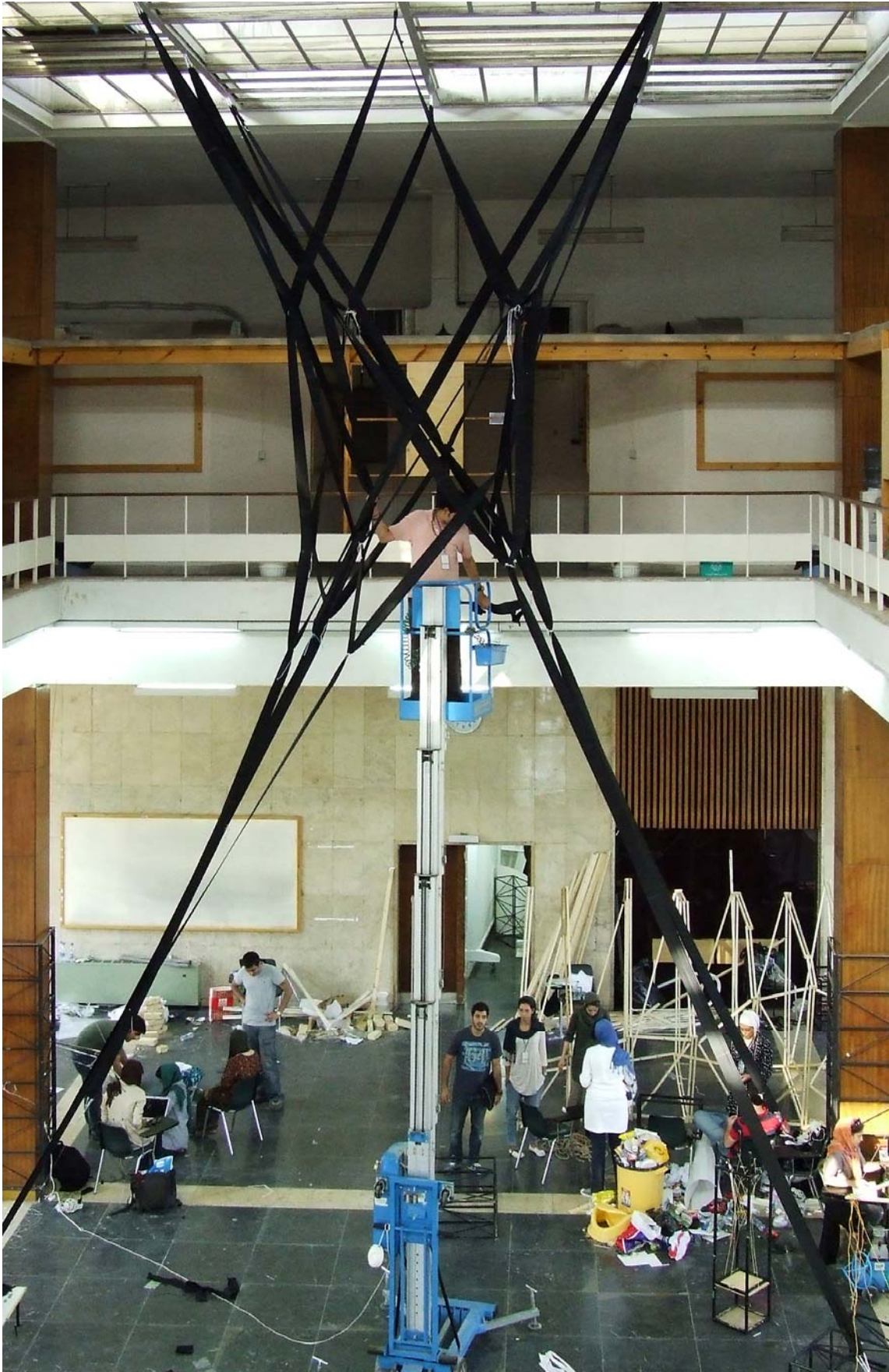
истезања укупне структуре. Првобитна трансформација структуре се одвија дуж вертикалне осе услед доминантног дејства гравитационе силе. Међутим, уз конструктивне и геометријске корекције спроведене током експеримента, произведена деформација поприма интригантне облике. Током радионице, техника моделовања се развија тако да омогућава контролу над опсегом и правцем истезања структуре. На самом крају, еластична деформација читаве структуре добија спиралну трајекторију.



Слика 5.2.1 Тестирање модела из серије *Недоследности 6.02*, јул 2011, Универзитет у Техерану. Студенти: Abolhassan Karimi, Amir Reza Esfahuodi, Imman Shameli, Mohammad Savadkuhi, доцент Ђорђе Стојановић.

У закључној фази радионице реализована су два прототипска модела. Градивни елементи који су употребљени у раној фази експеримента су замењени јачим и отпорнијим компонентама на бази еластомера, у виду траке ширине 100мм. Први прототип је био висок 3м, док је други досезао висину од 11м. Промена размере модела је створила већи утрошак материјала и времена. С друге стране, иста промена је омогућила олакшице у планирању и спровођењу експеримената, могућност интеракције између корисника и структуре, као и боље разумевање карактеристика и потенцијала градивног материјала. Оба произведена прототипа превазилазе улогу архитектонске макете и поседују одлике реализованих архитектонских пројеката.





Слика 5.2.2 Конструкција модела из серије *Недоследности в.02*, јул 2011, Универзитет у Техерану, програм Архитектонске асоцијације. Студенти: Abolhassan Karimi, Amir Reza Esfahuodi, Imman Shameli, Mohammad Savadkuhi, доцент Ђорђе Стојановић.

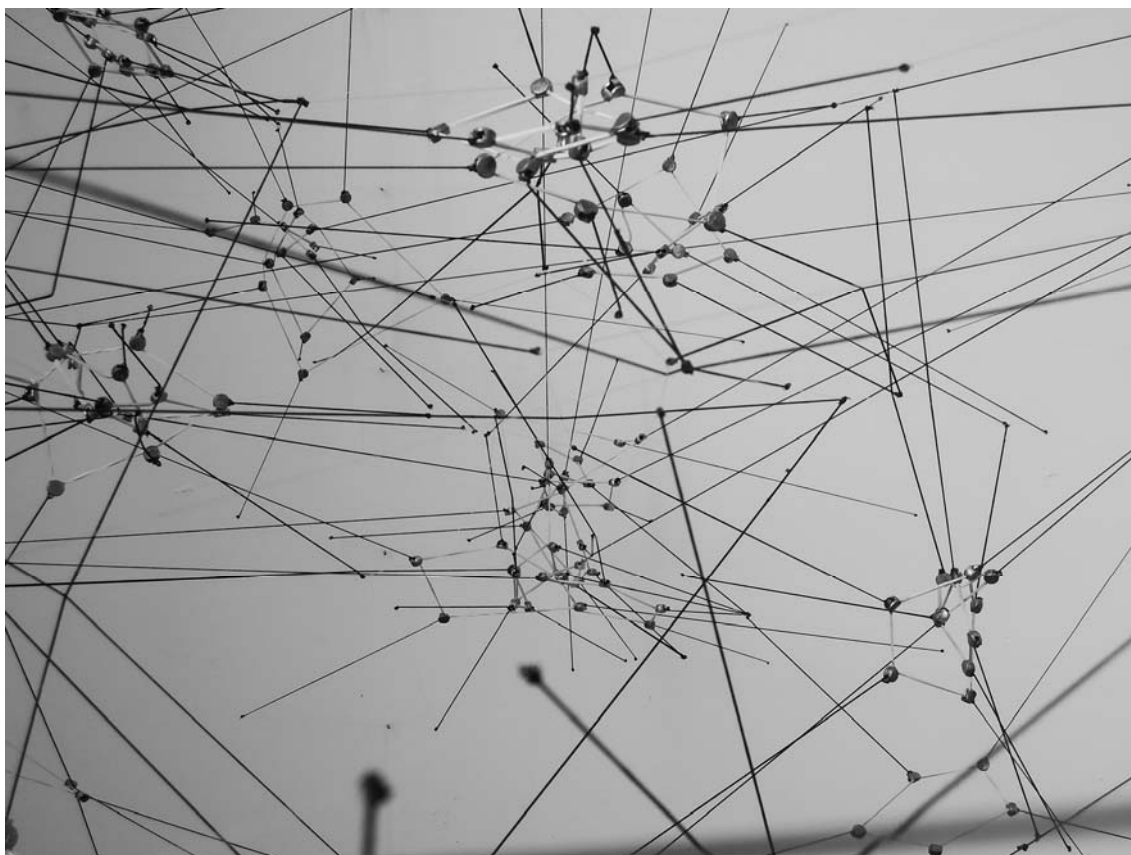


Слика 5.2.3 Тестирање модела из серије *Недоследности в.02*, јул 2011, Универзитет у Техерану, програм Архитектонске асоцијације. Студенти: Abolhassan Karimi, Amir Reza Esfahudi, Imman Shameli, Mohammad Savadkuhi, доцент Ђорђе Стојановић.

Крајњи производ истраживања, које почиње испитивањем потенцијала два преплетена конструктивна система, чини прототипски модел чија је структура способна да под оптерећењем, које одговара тежини једне одрасле особе, произведе и статички поднесе осцилације у распону до три метра. Утилитарна намена сâмог модела никада није размотрена. У складу са формулисаним циљем и планом, ово истраживање је првенствено усмерено ка развоју нових техника моделовања и пројектантских стратегија, које се заснивају на адаптивним принципима. Сви модели у оквиру ове радионице су произведени без размере и само са апстрактном идејом о просторној организацији. Међутим, при крају радионице, кроз дискусију са гостујућим критичарима и студентима, размотрене су могућности повезивања конструктивне и организационе логике добијених форми са практичном наменом. На пример, за један од паралелно изведених експеримената, тима који чине Али Гхорбани (Ali Gorbani), Али Касхфи (Ali Kašvi) и Сепидех Гхаеммагхами (Sepide Gemagami), спекулисано је да ли произведени модел може да постане прототип у процесу креирања употребног предмета или објекта. Постављено питање је покренуло дискусију о могућностима измене приоритета у архитектонском пројектовању, према којима логика конструкције или материјализације архитектонске форме може да преузме значај над функционално детерминисаном логиком. Један од закључака дискусије указује да адаптивност архитектонске форме захтева неку врсту наменске неодређености у својој концепцији, и да је такав приступ у архитектонском пројектовању условљен апстракцијом принципа просторне организације.

Током радионице се развијају и друга истраживања. Две радне групе паралелно испитују имплицитни утицај еластичног понашања матерјала у процесу концепције и конструкције тродимензионалних мрежа. Први тим чине Кашајар Шафаг (Khashayar Shafagh), Овеиш Шане (Oveis Shahnae) и Али Реза Шоџакани (Ali Reza Shojakhani), а други Шагаје Техери (Shaghayegh Taheri) и Париса Хасанзадеган (Parisa Hassanzadegan). Процес конструкција оба модела се огледа у постепеном и структурираном расту структуре, путем придруживања нових компоненти и успостављања нових физичких веза међу њима. У иницијалној фази моделовања, препознајемо формирање већег броја мањих и независних целина унутар једне заједничке структуре, које се током раста модела могу препознати као језгра око којих се компоненте групишу по принципима централитета и

густине. У каснијим фазама процеса конструкције, ове мање потцелине се повезују међу собом да би оформиле асоцијације у виду већих целина. Успостављање конструктивне и организационе логике читаве структуре се огледа у принципима међусобне повезаности и близине њених сегмената. Иницијално, модели се састоје од неколико десетина компоненти, али се током радионице континуално усложњавају и расту. На крају радионице, број компоненти, које чине један модел, досеже неколико стотина.

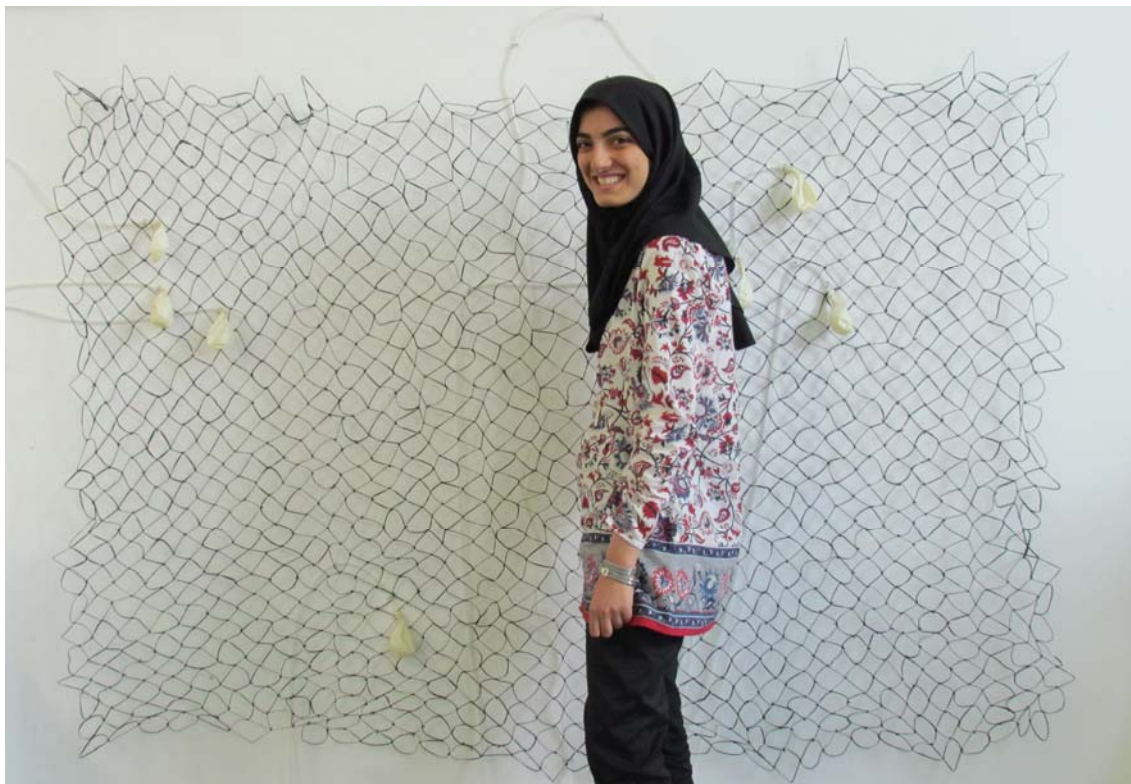


Слика 5.2.4 Модел из серије *Недоследности в.02*, јул 2011, Универзитет у Техерану, Гостујући програм Архитектонске асоцијације из Лондона. Студенти: Shaghayegh Taheri и Parisa Hassanzadegan, доцент Ђорђе Стојановић.

Обе групе са делимичним успехом развијају сличне технике моделовања, које се иницијално заснивају на геометријским правилима и комбиновању модуларних елемената ради успостављања просторне структуре, а потом се ослањају на емергентна правила, која су везана за карактеристике материјала. Процес конструкције њихових модела се темељи на способности сваке компоненте да се мења и да заузме мноштво различитих конфигурација у простору. Промене дужина компоненти, засноване на еластичном својству материјала, омогућавају значајне промене у положају њихових почетних и



крајњих тачака, током конструкције модела. Запажамо да увођење сваке нове компоненте или елиминација било које постојеће компоненте, проузрокује адаптације у конфигурацији читаве структуре. Процес моделовања се односи на континуирани низ адаптација модела, које су засноване на променама у интерним односима између његових сегмената. Запажамо да су одлуке, које пројектант доноси на овај начин, везане за омогућавање раста структуре путем успостављања принципа и правила, који функционишу на локалном нивоу.



Слика 5.2.5 Модел из серије *Недоследности в.02*, јул 2011, Универзитет у Техерану, Гостујући програм Архитектонске асоцијације из Лондона. Студенти Arefeh Fathi, Smaneh Ghasempour, Sepideh Monkhtari и Sajedeh Madani, доцент Ђорђе Стојановић.

Пету радну групу чине Арефе Фати (Arefeh Fathi), Самен Гасемпур (Smaneh Ghasempour), Сепиде Монтари (Sepideh Monkhtari) и Саџета Мадани (Sajedeh Madani). Овај тим се бави концепцијом структура, које мењају своју конфигурацију према осцилацијама у атмосферском притиску. И овај модел се ослања на еластично својство градивног материјала ради постизања промена у просторној конфигурацији, али се за разлику од претходно описаних истраживања ова врста адаптивности структуре везује за инфлацију и дефлацију материје у гасовитом стању. Модел се састоји од танких и еластичних опни у виду балона за акумулацију ваздуха, просторне мреже од еластичних модуларних компоненти и компресора са резервоаром капацитета 40 литара. Кретање материје у гасовитом

стању, из резервоара компресора у балоне, узрокује измене у конфигурацији мрежасте структуре. Убризгавањем ваздуха и повећањем притиска под којим се налази растегљива опна, увећава се волумен који структура обухвата, управо као и њена крутост и стабилност. Уколико нема довољно ваздуха, мрежа од еластомера је нестабилна и хаотична. Међутим, њене конструктивне перформансе као и карактеристике просторне увређености, повећавају се пропорционално у односу на повећање притиска. На основу запажања која су формирана током овог експеримента, створена је идеја за реализацију значајно сложенијег прототипског модела ради испитивања могућности за развој капацитета саморегулације просторних структура, током наредних радионица.

Закључци након друге радионице укључују оправданост и неопходност прототипског приступа моделовању, као и потврду могућности генерисања и контроле променљивости модела у границама конструктивне стабилности. У исто време, остварено је боље разумевања пројектантске стратегије и технике моделовања која може да обједини велики број различитих елемената у оквиру једне целине.

*Сарадник: Maryam Pousti. Студенти: Amir Reza Esfahbodi, Abolhassan Karimi, Imman Shamedi, Mohammad Habibi Savadkuhi Arefeh Fathi, Smaneh Ghasempour, Sepideh Monkhtari, Sajedeh Madani, Parisa Hassanzadegan, Shaghayegh Taheri, Ali Ghorbani, Ali Kashfi, Sepideh Ghaemmaghami, Khashayar Shafagh, Oveis Shahnaee и Ali Reza Shojakhani.*

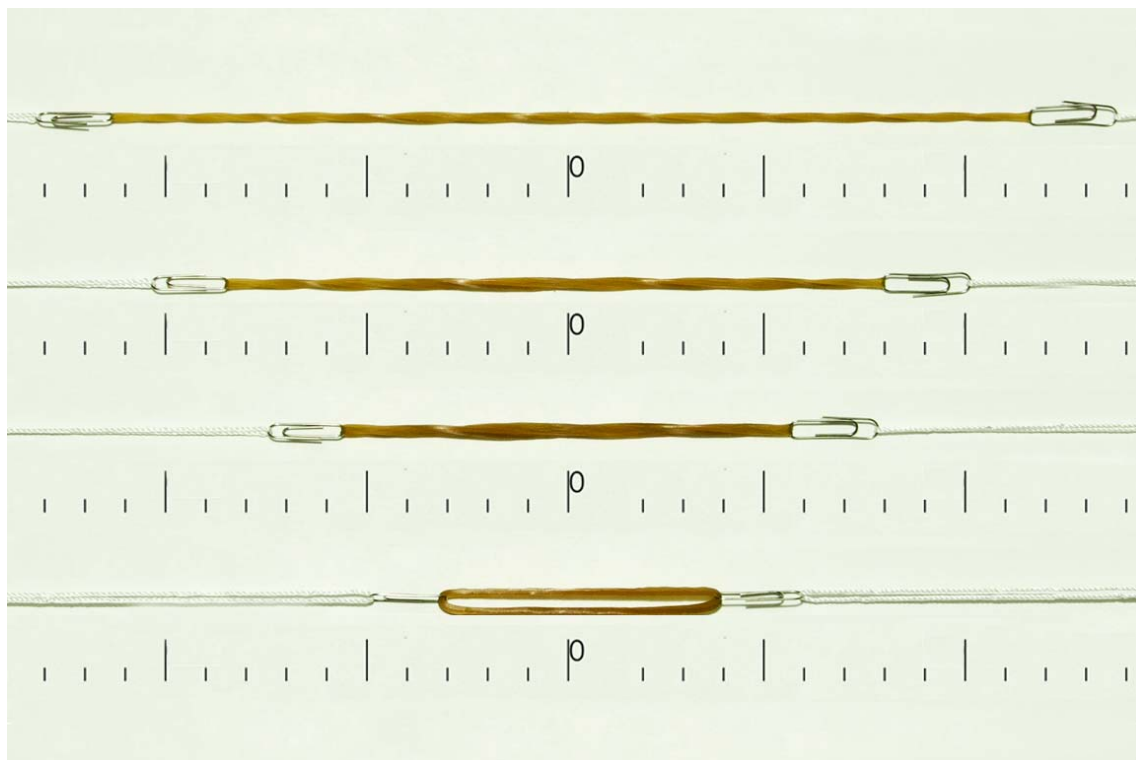
### **5.3 Пројектантска радионица „Недоследности в.03“, октобар 2011. године, Галерија Оzone у Београду**

За разлику од претходне две радионице које су одржане у академском окружењу, следећа радионица у низу се одвија у јавној галерији Озон (Ozone) у Београду. Простор за одржавање радионице и термин у програму галерије су додељени на основу апликације путем јавног конкурса, који се одржава на годишњем нивоу у оквиру независне иницијативе за промоцију пројеката, који се заснивају на интердисциплинарној сарадњи у областима уметности, науке и технологије.

У овој радионици је учествовало четрнаест студената Мастер академских студија Архитектонског факултета Универзитета у Београду. Радионица је конципирана као интегрални део курикулума за предмет Студио пројекат на усмерењу Архитектура, са циљем да омогући стицање практичног искуства у изради прототипских модела. С једне стране, разлог за измештање радионице ван Архитектонског факултета чине технички и визуелни услови галерије Озон, а са друге, могућност представљања сâмог процеса израде модела. Одржавање радионице у доступном и видљивом простору омогућило је интеракцију између посетилаца и модела у сâмом току градње, као и након завршетка радова. Опсервација овог односа доводи до формирања претпоставке о могућностима развијања методолошких принципа у архитектонском пројектовању, који промовишу активну улогу корисника у процесу пројектовања и реализацији архитектонских пројеката. Међутим, могућност ревидирања односа између пројектанта, градитеља и корисника није довољно испитана у оквирима овог експеримента и представља тему за будућа и тематски шира истраживања.

Поставка ове радионице не захтева истраживачко деловање на индивидуалном нивоу, већ колективни рад на конструкцији једног прототипског модела, што чини значајну разлику у односу на претходне две радионице. Истовремено, коначна форма модела није предодређена и резултат конструкције није био познат до самог краја радионице, јер се процес моделовања ослања на мноштво индивидуалних одлука, које утичу на односе међу компонентама и локалне конфигурације унутар модела. Заједнички циљ и усаглашеност оваквих одлука постигнуто је формирањем експлицитног сета инструкција, којима су се руководили учесници радионице при изради једног заједничког модела. Сазнања и искустава стечена током претходне две радионице, на Архитектонском факултету у Београду и Универзитету у Техерану, пренесене су у ову фазу пројекта управо кроз формулацију оваквог протокола. Међутим, цртежи и макете нису прављени за потребе конструкције прототипског модела. Информације су дистрибуиране у виду серије вербалних инструкција, структурираних у протокол за моделовање, који обједињује процесе концепције и градње. У оквирима овако дефинисаног протокола, учесници могу да доносе индивидуалне одлуке и тестирају могућности развоја модела према сопственој интуицији.

Као и претходни експерименти, и овај се заснива на примени лако доступних материјала и једноставних техника градње. Примењено је тачно 12 килограма „гумица“ жуте боје, дужине 70мм и ширине 5мм, као градивне компоненте једне сложене просторне структуре. Утврђена је максимална еластична деформација од 300% у односу на првобитну дужину елемента. Употребљено је приближно 8.000 металних спајалица за спојнице међу компонентама.



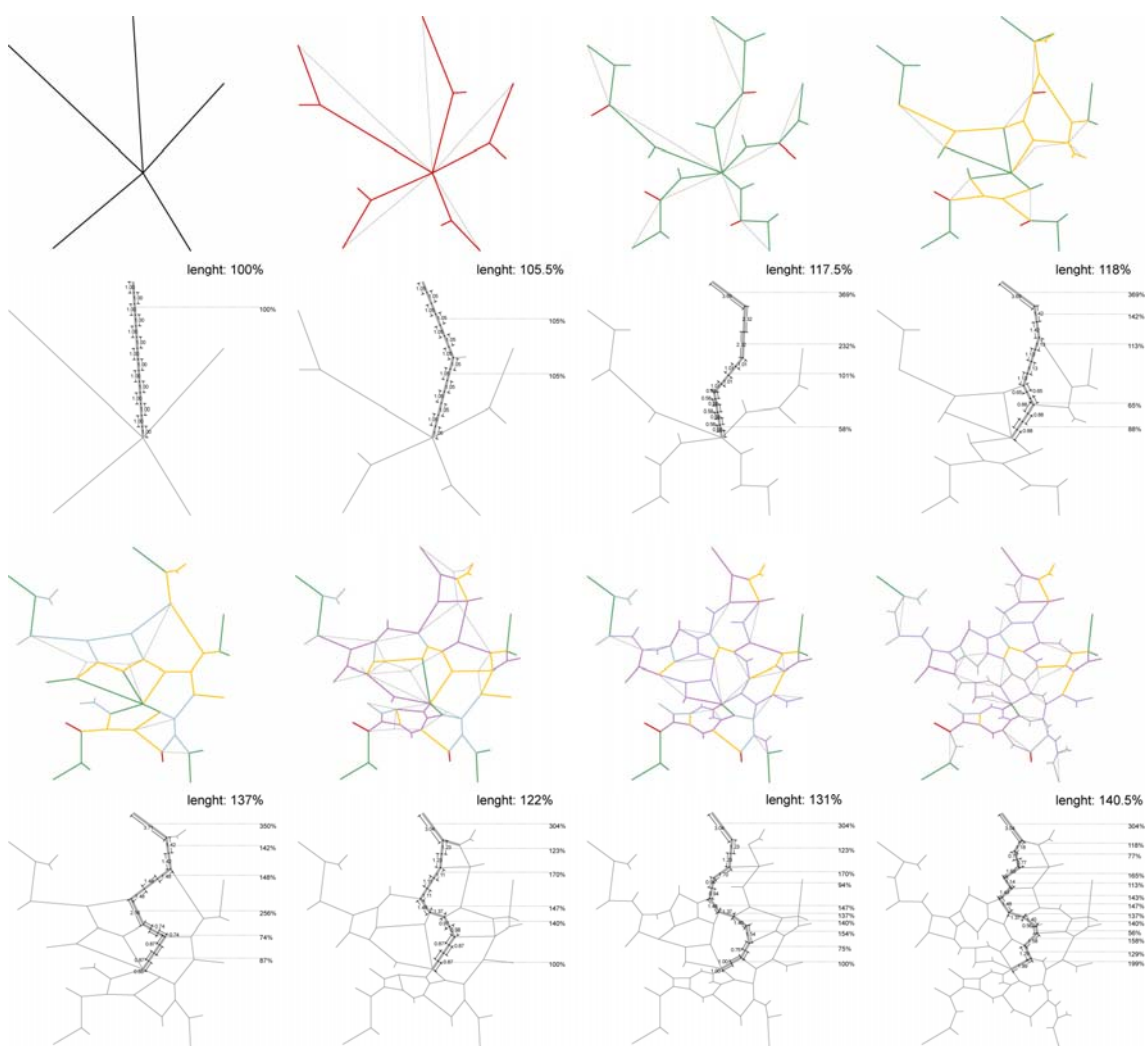
Слика 5.3.1 Испитивање еластичности материјала.

Конструкција модела у простору галерије Озон је трајала неколико дана. Процес изградње је покренут симултано из пет различитих тачака, од којих су низови модуларних елемента спроведени ка ослоначким тачкама у задатом окружењу. У овој фази, конструктивна логика се огледа у примени „Л система“, геометријских правила, која одређују позиције веза међу идентичним градивним компонентама. Према успостављеном протоколу и договору са студентима, структура се увећава системски, уметањем нових низова између средишта постојећих низова и нових погодних ослонаца. На основу формиране поставке истраживања кроз пројекат, као и сазнања стечених током претходне две радионице, очекивано је да ће оваква иницијална правила моделовања бити



замењена новим и емергентним правилима током раста структуре, која се заснивају на понашању материјала.

Управо због тога се у наредној фази радионице процес моделовања темељи на карактеристикама примењеног материјала, еластомера. Током конструкције модела, развијамо разумевање утицаја унутрашње структуре градивног материјала на технику моделовања и истражујемо могућност променљивости модела, која почива на еластичном распону градивног материјала. У претходној глави, изнесена је претпоставка да Хуков закон представља адекватну апроксимацију за разумевање понашања еластомера, иако је познато да овај закон



Слика 5.3.2 Шема иницијалних и емергентних правила раста структуре од еластомера.

није апсолутно релевантан за примењени градивни материјал због његове специфичне молекуларне структуре. Према Хуковом закону, знамо да је еластична деформација, или издужење неког материјала, директно пропорционална сили која делује на тај материјал, али услед великог броја

компоненти и сталне реконфигурације статичких сила, ова апроксимација је примењена само интуитивно током конструкције модела.

Као што је очекивано, током процеса конструкције прототипског модела, свака компонента се издужује у зависности од оптерећења које на њу утиче. Свака реконфигурација дистрибуције оптерећења унутар структуре модела, која је последица придруживања нових компоненти и остваривања нових веза међу њима, изазива синхронизоване промене у свим његовим компонентама. Свака компонента модела реагује тако што прилагођава сопствену дужину у оквирима распона еластичне деформације. Гумице, или траке од еластомера, које се производе једнообразно и допремају у галерију као идентични елементи, током конструкције модела мењају своје димензије и подлежу процесу диференцијације према локалним условљеностима. Бележимо да у финалној конфигурацији, која се састоји од приближно десет хиљада компоненти, није лако пронаћи две истоветне траке. Према установљеном распону еластичности за примењени материјал, дужина трака варира од 70 до 210 мм..

Запажамо да се варијетет са локалног нивоа преноси на укупну логику просторне форме која се усложњава током моделовања. Видимо да се геометријска правилност постепено губи, а конструктивна и организациона логика укупне структуре постаје комплекснија током раста модела. Са једне стране, укупна структура настаје као производ постепеног придруживања нових елемената, а са друге као последица сталне трансформације већ постојећих компоненти. Приликом раста структуре и успостављања нових веза, долази до континуалног реструктурирања сила оптерећења у индивидуалним компонентама, што условљава промену њихових дужина и покреће процес постепене физичке трансформације, кроз коју пролазе компоненте како би се адаптирале, односно прилагодиле новим околностима. Запажамо да је овај процес условљен одлукама које доносе учесници радионице, односно актери у процесу моделовања, али се адаптација модела одвија самостално и односи на стечену способност саморегулације или капацитет структуре да се прилагоди према променама у сопственом контексту ради тежње за одржањем. Укупна статичка стабилност структуре условљена је настанком и опстанком мноштва локалних и различитих просторних односа.



Слика 5.3.4 Модел *Недоследности в.03*, октобар 2011, Галерија *Оzone*, Београд. Фото Ана Костић.

Претпоставке, које су изнесене у претходној глави су у великој мери потврђене запажањима, која настају током процеса моделовања. Интерне, физичке и хемијске карактеристике еластомера су од пресудне важности за процес концепције и реализације модела. Запажамо да еластично понашање материјала омогућава доношење пројектантских одлука на основу спровођења вишеструког броја проба током сâмог процеса моделовања. Истовремено, запажамо да еластичност материјала омогућава велики праг димензионалне толеранције током процеса конструкције. Прецизно мерење није неопходно, и могућност грешке је вишеструко умањена. Дужина сваке од компоненти, као и позиције спојева међу компонентама, увек су тестиране према различитим конфигурацијама структуре, пре него што се њихова позиција фиксира.

Успостављена техника моделовања се непосредно надовезује на технику која је забележена током радионице у Техерану, и која је асимиловала адаптивне принципе у процес концепције и реализације просторног модела. Сада је развијено боље разумевање могућности пројектовања сложених просторних форми кроз регулацију локалних односа међу компонентама, које чине те форме. Техника моделовања је унапређена применом раскидивих веза међу компонентама, што је омогућило већу флексибилност током процеса моделовања.

Примењене спојнице, у виду металних спајалица, пружају једноставно решење за стварање и растварање асоцијација међу градивним јединицама. Овакав систем веза у комбинацији са еластичним понашањем материјала, омогућава непосредан вид манипулисања са просторном формом и могућност вишеструких провера током процеса моделовања. Увиђамо да променљивост просторне форме постаје једна од њених суштинских карактеристика, и да се методолошки принципи, које примењујемо за концепцију и реализацију оваквих просторних организација, ослањају на могућност пројектовања путем континулане серије итерација те форме.

Сазнања која су остварена током треће радионице продубљују испитивање могућности за концепцију и реализацију комплексних и променљивих просторних окружења, на основу теоријских становишта која су претходно описана у виду стања „Поља“ и „Мреже“. Међусобна повезаност и стварање великог броја локално различитих стања су кључне карактеристике оствареног модела. У односу на претходну радионицу, техника моделовања је унапређена кроз структурирање јединственог протокола за симултану партиципацију великог броја учесника у процесу моделовања. Такође, техника конструкције модела је унапређена путем остваривања могућности за непосредно и једноставно испитивање већег броја опција током процеса моделовања.

*Сарадници: Милутин Церковић, Милица Тасић. Студенти: Ивана Радовић, Катарина Мерћеп, Марија Поп-Митић, Данка Сијерковић, Јован Пуцаревић, Деа Колачек, Милош Симић, Емилија Златковић, Милан Катић, Душан Тасић, Соња Елаковић, Ана Тодосијевић, Марко Вукајловић.*



Слика 5.3.5 Деталј модела *Недоследности в.03*, октобар 2011, Галерија Озоне, Београд. Фото: Ана Костић.



Слика 5.3.6 Конструкција модела *Недоследности в.03*, октобар 2011, Галерија Озоне, Београд. Фото: Ана Костић.

#### 5.4 Пројектантска радионица „Недоследности в.04“, јун 2012. године, Кула Небојша у Београду

Четврта радионица у низу је одржана на отвореном простору, у дворишту анекса Куле Небојша на Доњем Калемегдану у Београду. Истраживање је проширено задацима који се односе на продубљивање технике моделовања и развоја пројектантских стратегија, кроз непосредније укључивање утицаја из окружења, као што су климатски или атмосферски утицаји. На овој радионици је учествовало шеснаест студената, Мастер академских студија Архитектонског факултета Универзитета у Београду. Радионица је интегрисана у завршну фазу наставног програма за предмет Студио пројекат, на усмерењу Архитектура. Циљеви овог курса, који траје петнаест недеља обухватају развијање способности примене принципа одрживог развоја и продубљивање вештине пројектовања просторних форми у складу са променљивим утицајима из њиховог окружења. Већина студената је учествовала и на претходној радионици, током које стиче искуство у изради прототипских модела, као и предзнање о могућностима пројектовања и реализације просторних организација на основу алгоритамски структурираног протокола. Радионица је реализована у сарадњи са Српским удружењем за енергију ветра (*SEWEA*) и Националном алијансом за локални економски развој (*NALED*) и одржана је поводом прославе светског дана ветра, који се обележава 15. јуна сваке године у циљу промоције чистих и обновљивих ресурса енергије.

Потрага за местом на коме је могуће извести овакав експеримент, представља први сегмент припрема за ову радионицу. Основни критеријуми, који су успостављени за избор локације, односе се на могућност дуготрајнијег опстанка прототипа, што би са једне стране дозволило темељнију анализу добијених резултата, а са друге омогућило приближавање карактера модела са природом изведеног архитектонског пројекта. Модели, који су настали током претходних испитивања, имали су животни циклус од само неколико дана, услед ограниченог термина за одржавање радионица. Прелиминарно изабрана локација је напуштено градилиште на подручју Савамале у Београду, чија будућност, заробљена између инсолвентног инвеститора и инертне планске регулативе, у великој мери осликава карактер овог дела града, који је испуњен нефункционалним индустријским објектима са великим потенцијалом. Други



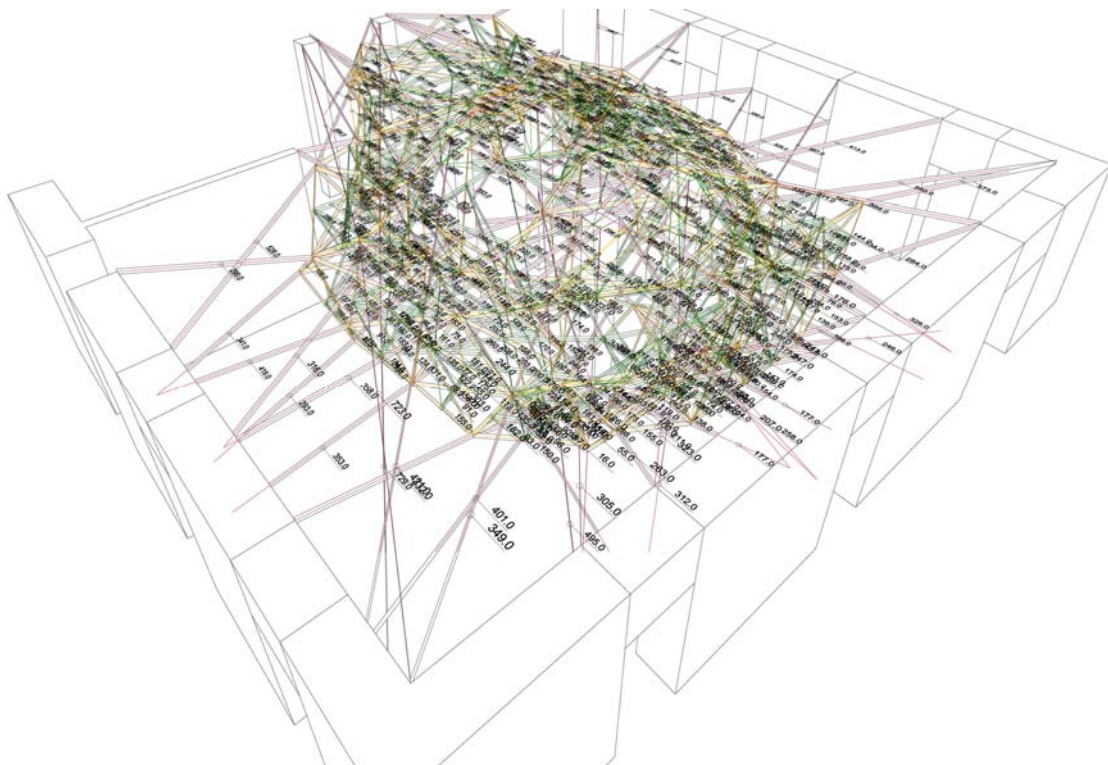
критеријуми у избору локације, односе се на могућност формирања стратегије за активирање запуштеног простора према сценарију који се радикално разликује од уобичајеног процеса реализације архитектонско-урбанистичког пројекта и могућност обједињавања академско истраживачког рада са реалним и јавним животом града. Идеја се надовезује на запажања остварена током претходне радионице, која је одржана у доступном и видљивом простору, што је омогућило интеракцију између посетилаца и модела у процесу градње, једнако као и након завршетка радова.

Припреме за спровођење радионице, у периоду од два месеца, укључују: снимање постојећег стања, прикупљање пројектне документације, анализу правно-имовинске ситуације, комуникацију са општином Савски Венац на чијој територији се налази изабрана локација, прављење плана за уклањање отпада, разматрање безбедности учесника током трајања радионице, као и сигурност посетилаца након завршетка конструкције модела, разматрање адекватног материјала за израду прототипа, планирање набавке материјала и потребног алата. Такође, у оквиру припрема, направљен је рачунарски тродимензионални модел постојећег стања, који је употребљен за прелиминарну проверу конструктивне стратегије модела и грубу калкулацију количине потребног материјала.



Слика 5.4.1 Првобитна локација у Савамали. Фото Милица Тасић.

На локацији се налазе четири централно постављена бетонска стуба и зидови од опеке, који леже на ободима парцеле. У односу на постојеће стање и уз ослањање на искустава стечена током овог истраживања (првенствено на технику моделовања, која је примењена у реализацији модела у претходној радионици у галерији Озон у Београду), направљен је први предлог структуре, која ће бити сачињена током радионице. Иницијални план за конструкцију модела се састоји од четири корака, која су формулисана у виду једноставног геометријског алгоритма. Први корак се односи на успостављање веза између централно постављених стубова и периферних зидова, тако да њихови распони не превазилазе дужину од 7 метара. Преостала три корака се односе на рекурзивно увођење нових веза, односно елемената, који увек спајају средишта претходно успостављених распона. Овим путем, првобитни распони су вишеструко умањени. Предвиђени материјал за конструкцију модела током ове радионице је трака од еластомера ширине 70мм. Утврђена је максимална еластична деформација од 200% у односу на првобитну дужину елемента. На основу прелиминарног компјутерског модела, који само апроксимативно узима у обзир еластично својство материјала, процењено је да је за израду модела потребно 1.700 метара траке и приближно 500 спојница међу њима.



Слика 5.4.2 Првобитна конфигурација рачунарског модела са апроксимативним приказом потребног материјала.



Трака од еластомера се производи и допрема у котуровима дужине 25м. Према процени потребног материјала за конструкцију модела, потребно је укупно 68 котурова траке, који су прихваћени као градивне јединице. Дужина оваквих јединица превазилази распоне на одабраној локацији и план конструкције се удаљава од потребе за применом модуларних елемената, као што је то био случај у претходној радионици. Обзиром да се трака еластомера сече без тешкоћа, предвиђено је да ће дужина сваке компоненте бити одређена на лицу места, током процеса конструкције и према распону за који је намењена. Овако је процес градње знатно олакшан јер се постојећи распони могу премостити само једним елементом уместо низа компоненти као у претходној радионици. Мањи број елемената такође захтева мањи број спојева, што додатно олакшава рад.

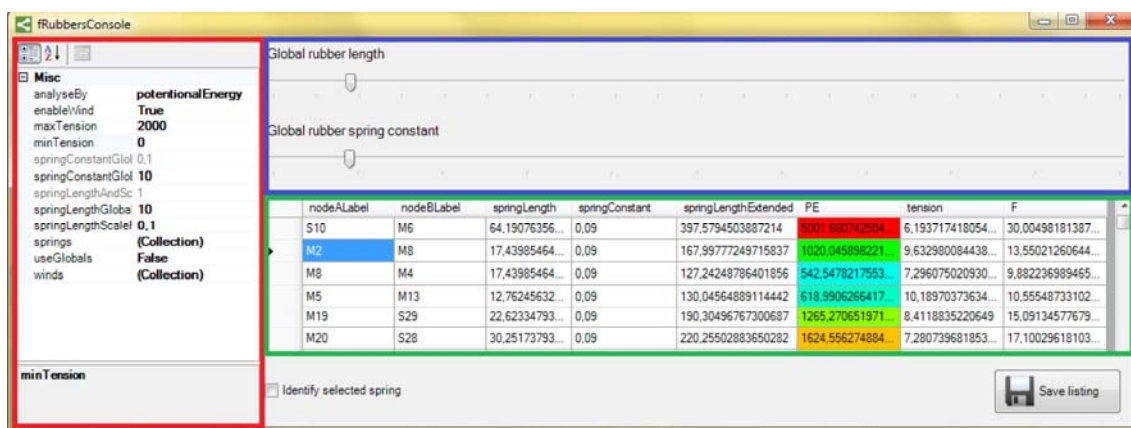


Слика 5.4.3 Детаљ модела *Недоследности в.04*, јун 2012, Анекс Куле Небојша, Београд. Фото: Ана Костић.

На моделу су предвиђене само две врсте спојева. Прва представља знатно мањи део од укупног броја спојева јер се односи на везе између трака и ослонаца на затеченим зидовима. Другу врсту чини већи број спојева и односи се на везе међу самим тракама које настају приликом придруживања нових трака током раста структуре. Према установљеном алгоритму, оне увек повезују средину постојеће траке са почетком или крајем нове траке. Обе врсте спојева се састоје од две ласерски сечене плочице од лима, димензија 100x72мм и дебљине 0.5мм, које

обухватају траке од еластомера међу којима се успоставља веза. На свакој плочици налази се по шест рупа пречника 4мм кроз које се, као и кроз траке од еластомера, провлаче пластични елементи којима се веза фиксира.

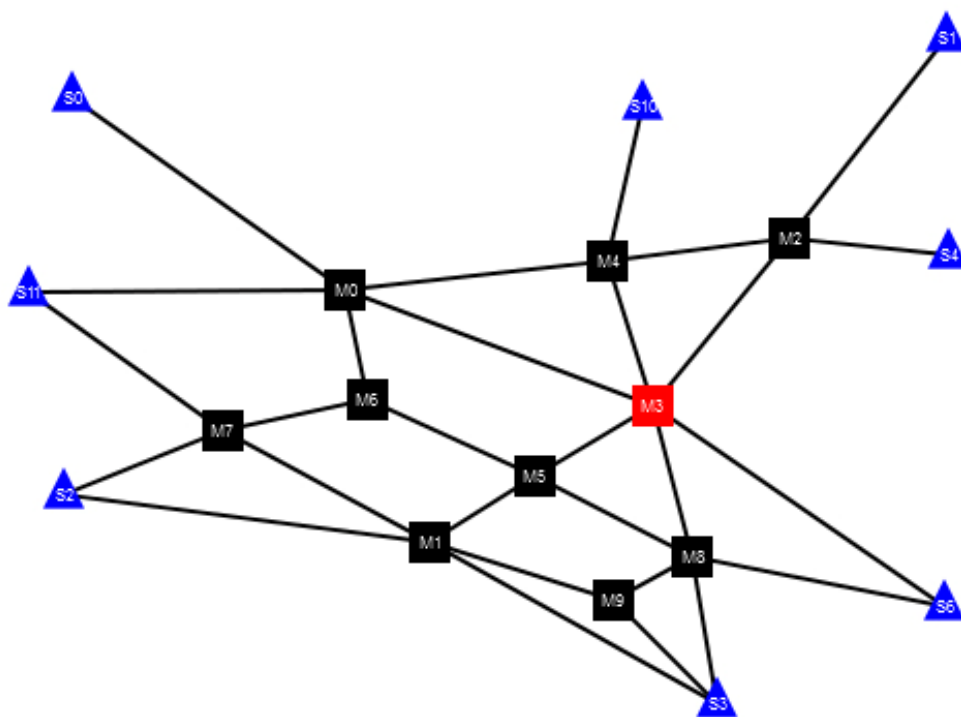
Током припрема за ову радионицу, постигнут је значајан помак у самој техници моделовања и то кроз развој пројектантског алата у виду рачунарске симулације. Путем наменског програмирања, овакав алат је омогућио егзактније укључивање перформанси материјала у процес моделовања. У геометријски протокол моделовања интегрисани су принципи Хуковог закона еластичности, путем укључивања еластичног распона и коефицијента еластичности примењеног материјала. Истраживање, које је покренуто у сарадњи са групом за математику, архитектонску геометрију и рачунарски засновано пројектовање (CAAD) на Архитектонском факултету Универзитета у Београду, резултирало је реализацијом софтверске екстензије (*plug-in*) намењене „Рајносерос“ (*Rhinoceros*) платформи за тродимензионално моделовање, која се често примењује у архитектонском пројектовању.



Слика 5.4.4 Интерфејс за параметарску контролу карактеристика материјала у *Rhinoceros* окружењу.

Примена наменски реализованог софтвера омогућава боље разумевање формативног утицаја карактеристика материјала, које су претходно идентификоване током физичког моделовања. Према плану истраживања, који је описан у претходној глави, техника моделовања је од самог почетка спровођења експеримената, развијана према постављеном задатку, који се односи на међусобно приближавање физичких и рачунарски заснованих приступа у архитектонском моделовању. Током рада на физичким моделима, идентификована је улога иницијалних правила, која су заснована на

геометријским принципима „*Л система*“, као и улога емергентних правила, која су везана за еластично понашање материјала. Обе врсте правила су утемељене на алгоритамској логици, која је путем схематских цртежа формирала логику за реализацију рачунарског програма за симулацију процеса моделовања просторних структура које се састоје од еластичних компоненти. Коначној верзији софтверске екстензије, која је предвиђена за Рајносерос окружење, претходиле су две једноставније верзије у виду самосталних програмских апликација, чији је аутор Бојан Митровић. Обе су сачињене употребом Процесинга (*Processing*) – програмског језика који је конципиран као отворена (*open source*) платформа, за слободан приступ и дистрибуцију програмских синтакси. Обе апликације настају



Слика 5.4.5 Рачунарска апликација за дводимензионално моделовање структура од еластичног материјала.

адаптацијом већ постојеће синтаксе, намењене за графички приказ друштвених организација, чији је аутор Јорис Дорманс (Joris Dormans) са одсека за Рачунарски дизајн на Амстердамском универзитету примењених наука (*Computational Design, Amsterdam University of Applied Sciences*). Овај програмски кôд се заснива на комбинацији принципа линеарне еластичности или симплификоване верзије Хуковог закона и приступа, који је познат под називом „Систем честица“ (*Particle System*) и који се користи ради симулације понашања великог броја материјалних

честица на које делују физичке силе. Овај систем има значајну примену у науци и користи се ради моделовања и проучавања комплексних феномена. Такође, често се примењује у рачунарској графичи ради визуелизације материјалних процеса.

Прва верзија софтверске апликације има дводимензионалну поставку и омогућава корисницима да брзо и лако испитају принципе моделовања мрежа од еластичног материјала. Употреба се темељи на неколико једноставних команди:

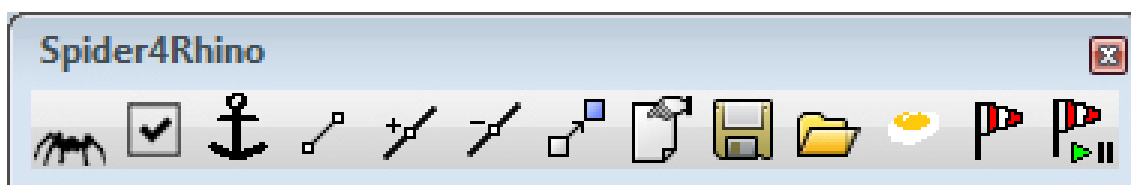
- *Леви клик на тачку* **селектује тачку**,
- *десни клик на слободну површину* **додаје ослонац**,
- *десни клик на тачку 1 и на тачку 2* **додаје покретну тачку** између њих ако су повезане,
- *десни клик на тачку 1 и на тачку 2* **додаје везу** између њих ако нису повезане,
- *десни клик на тачку 1 и на слободну површину* **додаје нову статичну тачку**,
- *delete* **брише селектовану тачку**.

Друга верзија је нешто сложенија и има тродимензионалну поставку. Овде је предвиђена могућност прецизног дефинисања координата за позиције тачака путем наменских поља за унос текста. Упутство за коришћење је следеће:

- *Леви клик на тачку* **селектује тачку**,
- *десни клик на тачку* након селектовања тачке **додаје везу** међу њима,
- *десни клик на тачку* након селектовања тачке **додаје нову тачку** уколико је веза међу њима успостављена,
- *средњи клик* омогућава **подешавање оквира**,
- *средњи клик + SHIFT* омогућава **промену перспективе**,
- *стрелице на тастатури, Page Up i Page Down* омогућавају **померање селектоване тачке** у три (?) простору,
- *м* **помера селектовану тачку** на координате према вредностима у пољу за текст,
- *+* (*плус*) **додаје нову тачку** на позицији према вредностима координата унетим у пољу за текст,
- *-* (*минус*) **брише селектовану тачку**.

Трећа и коначна верзија апликације, ослања се на Рајносерос платформу и реализована је као интегрални део овог, архитектама добро познатог радног окружења. Апликација се инсталира као системски фајл и видљива је као наменски мени под називом „Паук“ (*Spider*) са командама за:

- Покретање и заустављање симулације,
- постављање пробног система,
- додавање статичних тачака, односно ослонаца,
- повезивање две тачке еластичном везом,
- додавање нове тачке на еластичној вези између две постојеће тачке,
- брисање тачке,
- померање тачке,
- измена вредности коефицијента еластичности,
- измена вредности распона еластичности,
- додавање и параметарску контролу утицаја ветра на систем,
- покретање и заустављање симулације утицаја ветра,
- позивање интерфејса за параметарску контролу карактеристика материјала,
- снимање система тачака на диск,
- учитавање система тачака са диска,
- претварање еластичних веза и чворова у Рајносерос објекте, линије и тачке,
- додељивање боја објектима и приказивање ознака.



Слика 5.4.6 Наменски сет команди у *Rhinoceros* окружењу са командама за моделовање просторних структура од еластичних материјала.

Први резултати рада са овом апликацијом настају након двомесечних припрема које обухватају већ наведене радње и само седам дана пред планирани почетак конструкције прототипског модела. Управо у том тренутку, услед нерешених правно-имовинских односа, испоставља се да неће бити могуће да се радионица одржи на планираној локацији и да је неопходно да се читав пројект веома брзо прилагоди условима новог окружења. Промена локације условила је



извесне компромисе и преформулацију претходно постављених циљева истраживања. Међутим, промена контекста пружила је и јако добру проверу могућности примене адаптивних принципа у архитектонском пројектовању. У веома кратком временском року, применом већ потврђене технике моделовања и ослањањем на нови алат у виду наменски направљене апликације за рачунарску симулацију процеса конструкције, модел је прилагођен сасвим новом окружењу без компромитовања његових формалних, организационих и структуралних квалитета. Запажамо да је употреба ове апликације омогућила значајно економичнији процес рада и могућност испитивања већег броја сценарија за раст структуре, а након реализације сложеног физичког модела, која је уследила после израде рачунарског модела, остварена је и потврда о исправности и степену прецизности резултата, које даје рачунарска симулација.



Слика 5.4.7 Модел *Недоследности в.04*, јун 2012, анекс Куле Небојша, Београд.

Након нове потраге за погодном локацијом, радионица је премештена у недовршени анекс Куле Небојша, издужен и отворен простор, који нема кровну конструкцију. Краће растојање међу зидовима износи приближно 13м, а њихова висина прелази 5м. Овим димензијама је одређена и величина прототипа. Наведени распони су дупло већи у односу на распоне које има модел предвиђен за локацију у Савамали. Променом окружења, читава структура је постала знатно

већа, а процес конструкције знатно комплекснији. Распоред погодних ослонаца у простору условљава радикалне промене структуре у односу на претходну конфигурацију. Појавили су се практични проблеми, којих није било на претходној локацији. На пример, овде није било могуће инсталирати анкере у зидовима јер би они угрозили водонепропусна својства бетона, па је првобитно планирани буџет за рашчишћавање локације сада преусмерен на конструкцију шест носача од челичних профила 40x40мм који су стабилизовани само затегама.

На новој локацији су створени бољи услови за испитивање могућности укључивања атмосферских утицаја током животног циклуса модела. У претходним експериментима, истраживали смо деловање унутрашњих статичких сила, које се преносе кроз компоненте од еластомера и утичу на геометријску структуру модела. Током ове радионице, у процес моделовања укључујемо и испитивање утицаја спољних сила. На пример, услед израженог еластичног својства материјала, деловање ветра узрокује краткотрајне промене у геометрији структуре и утиче на измене у дистрибуцији статичких сила. Слаб интензитет ветра у периоду трајања конструкције ограничено је истраживање путем физичког модела. Међутим, истраживање способности модела да измени своју структуру према деловању спољних утицаја, и потом се врати у првобитну конфигурацију је настављено путем рачунарски засноване симулације. Реализована софтверска екстензија омогућава веродостојно укључивање механичких утицаја, попут силе ветра, чији интензитет и смер могу бити параметарски контролисани. У комбинацији са контролом перформанси материјала, овакви утицаји могу бити од значаја за укупну конституцију модела. Попут раније разјашњеног односа између еластичности материјала и адаптивности просторне организације, успостављена је аналогија између механичке силе ветра и екстерних утицаја на просторне организације, ради развоја пројектантских стратегија које се заснивају способности саморегулације изграђеног окружења. Задатак истраживања се првенствено односи на методолошке импликације у архитектонском пројектовању и развој техника моделовања које непосредно укључују утицаје из окружења у процес концепције просторне форме.



Слика 5.4.8 Модел *Недоследности в.04*, јун 2012, анекс Куле Небојша, Београд. Фото Ана Костић.





Слика 5.4.9 Модел *Недоследности в.04*, јун 2012, анекс Куле Небојша, Београд. Фото Ана Костић.



Слика 5.4.10 Модел *Недоследности в.04*, јун 2012, анекс Куле Небојша, Београд. Фото Ана Костић.

Још један атмосферски фактор, чији је утицај на конституцију модела био видљив током трајања радионице, јесте спољашња температура. У периоду од двадесет дана, колико је прошло од почетка конструкције до уклањања структуре из анекса Куле Небојша, спољна температура је варијала између 21 и 35 степени Целзијуса. На високој температури, хемијска структура еластомера се мења и материјал губи способност тежње повратка у првобитно стање након деловања неке силе. Запажамо да се услед постепеног губитка еластичног својства материјала повећава дужина трака. Првобитно затегнуте и праве путање трака између спојева, постепено добијају облик ланчанице јер сила земљине теже надвладава силе затезања у тракама. Опсег деформације, услед температурних разлика, постаје видљив тек пошто је изградња окончана. Непосредно пред демонтажу, најниже компоненте модела, које су се првобитно налазиле на висини од 200цм, спустиле су се на само 50цм од пода. У поставци истраживања кроз пројекат, указано је на то да еластично понашање еластомера није искључиво условљено силом која делује на материјал, већ да је такође условљено начином примене те силе и температуром у окружењу. Ипак, еластично својство материјала је узето у разматрање путем Хуковог закона под претпоставком да је оваква симплификација пожељна ради лакшег спровођења физичких тестова и наменског програмирања ради рачунарске симулације, што је омогућило прецизније укључивање карактеристика материјала у процес геометријског моделовања. Међутим, на основу овог експеримента увиђамо значај утицаја температуре и могућност да се поред карактеристика материјала у процес архитектонског моделовања укључи и шири спектар утицаја из окружења.

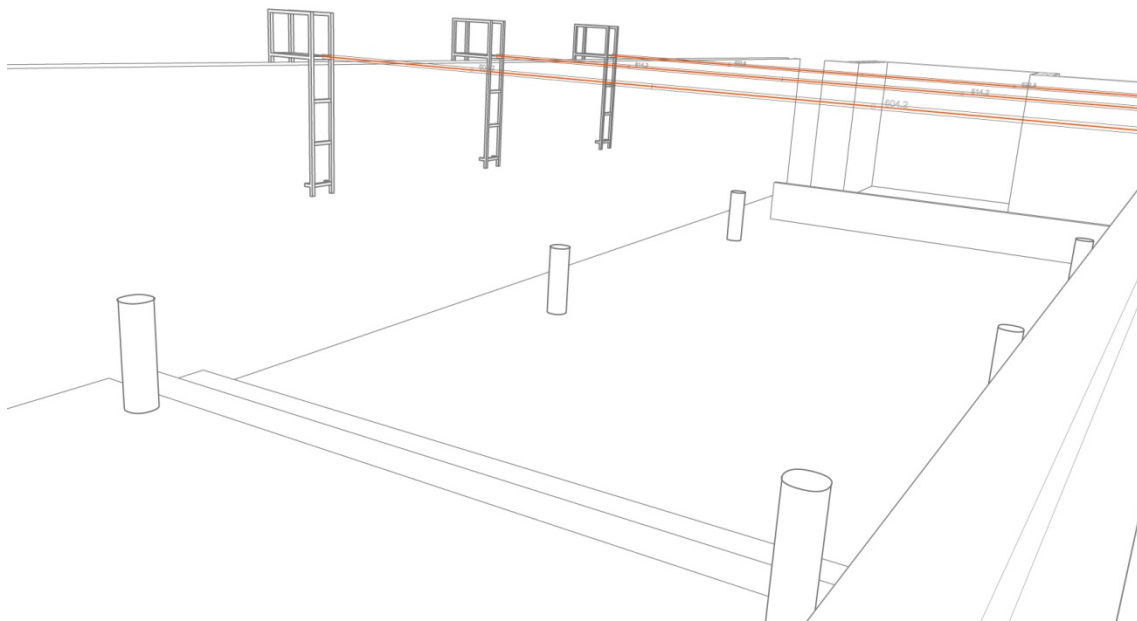
Конструкција модела је трајала пет дана. Као у претходној радионици, и у овој је предвиђено да сви учесници заједнички раде на конструкцији једног прототипа према установљеном протоколу. Рачунарски модел, који је настао применом апликације за симулацију материјалних и физичких процеса током раста структуре, разложен је на кораке који чине протокол за изградњу модела. Током првог и другог дана конструкције модела, физичка структура настаје као реплика рачунарског модела. Упоредна анализа је извршена кроз седам ступњева развоја модела. Подударност између два модела пружа потврду о доследној и адекватној интерпретацији карактеристика материјала путем примене рачунарског програмирања. Након другог дана, број компоненти се знатно увећао. Доследно

преношење мера и позиција са модела насталог путем рачунарски засноване симулације на физички модел, постаје веома компликовано. Истовремено, организација активности поприма хијерархијски карактер, јер је деловање свих шеснаест учесника радионице условљено инструкцијама које преноси једна особа са рачунарског модела. Увиђамо да централизована дистрибуција инструкција отежава реализацију модела. Управо услед просторних карактеристика, које смо претходно идентификовали у теоријским моделима „Поља“ и „Мреже“ и које сада препознајемо као емергентна својства модела, запажамо значај дистрибуираног доношење одлука о успостављању веза између елемената модела. Током три завршна дана конструкције модела, замењене су улоге рачунарског и физичког модела. Према установљеном протоколу за раст структуре, учесници радионице су доносили индивидуалне одлуке о формирању нових веза на физичком моделу, које су након реализације, евидентирани на рачунарском моделу. Провера је извршена кроз упоредну анализу једанаест ступњева развоја модела. Усаглашеност физичког и рачунарског модела, приказана путем поређења кроз секвенце илустрација, указује на приближавање две технике моделовања сложених просторних структура, што је један од успостављених задатака овог истраживања.



Слика 5.4.11 Поређење дигиталног и физичког модела.

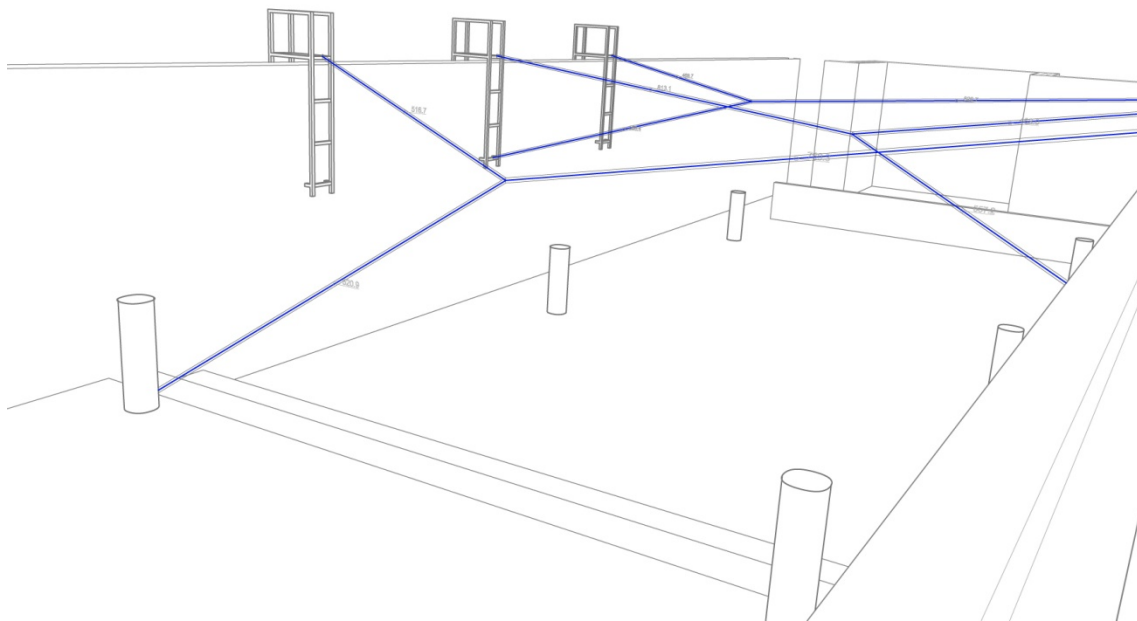




Слика 5.4.12 Рачунарски модел – први ступањ упоредне анализе са физичким моделом. *Недоследности в.04*, Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.



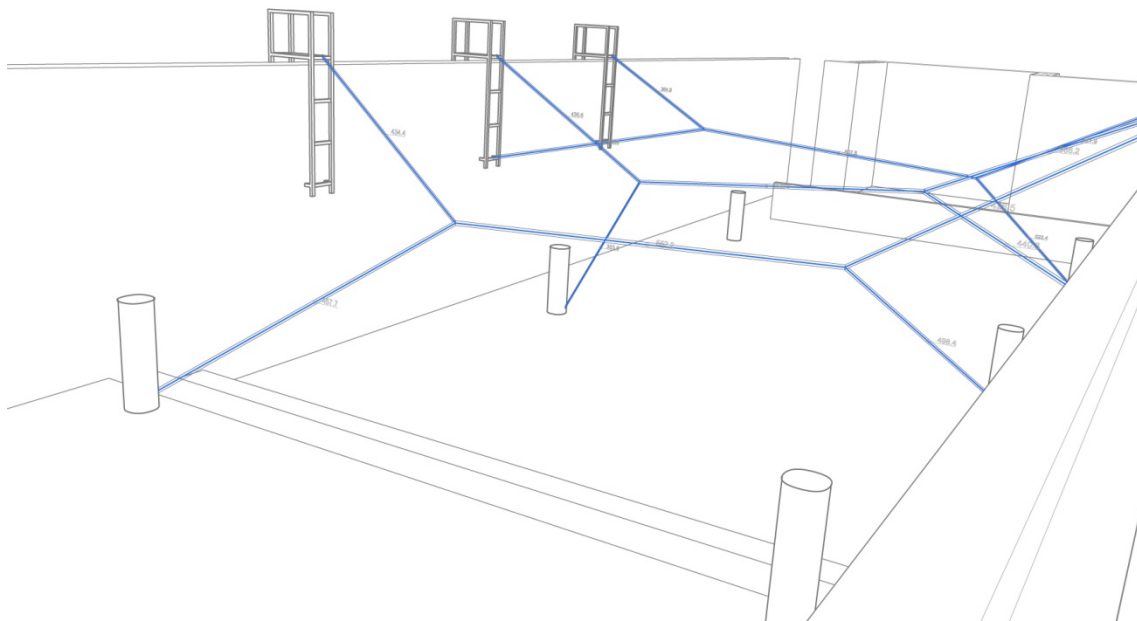
Слика 5.4.13 Физички модел - први ступањ упоредне анализе са рачунарским моделом *Недоследности в.04*, 13:37h, 6. Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.



Слика 5.4.14 Рачунарски модел – други ступањ упоредне анализе са физичким моделом. *Недоследности в.04*, Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.



Слика 5.4.15 Физички модел - други ступањ упоредне анализе са рачунарским моделом. *Недоследности в.04*, 10:08h, 7. Јун 2012, Анекс Куле Небојша, Београд.

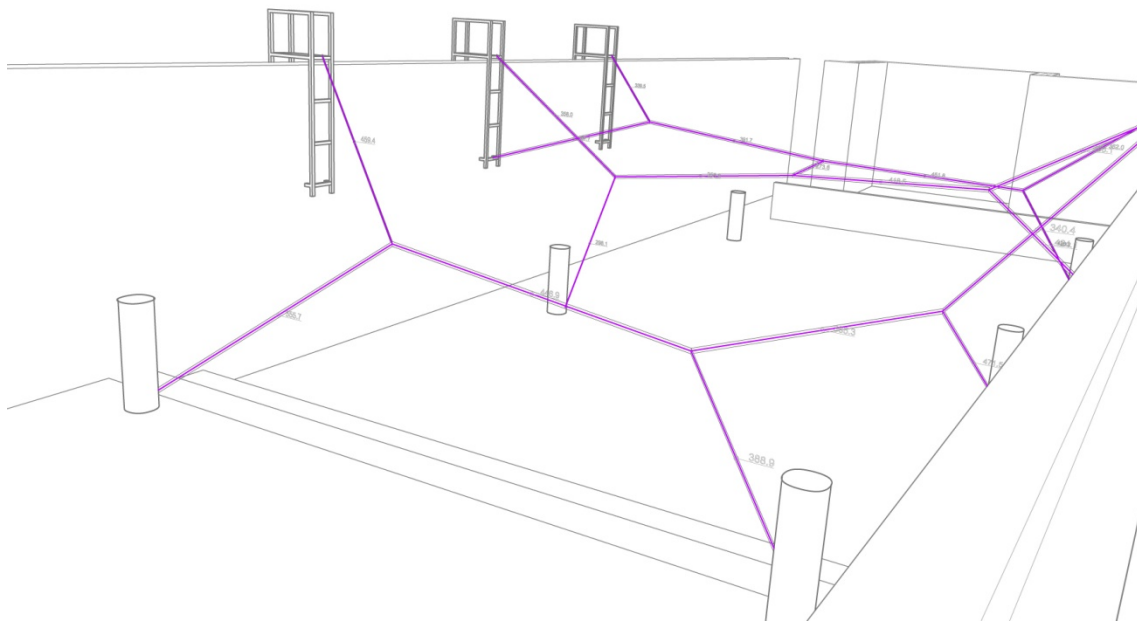


Слика 5.4.16 Рачунарски модел – трећи ступањ упоредне анализе са физичким моделом. *Недоследности в.04*, Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.



Слика 5.4.17 Физички модел - трећи ступањ упоредне анализе са рачунарским моделом. *Недоследности в.04*, 10:57h, 7. Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.

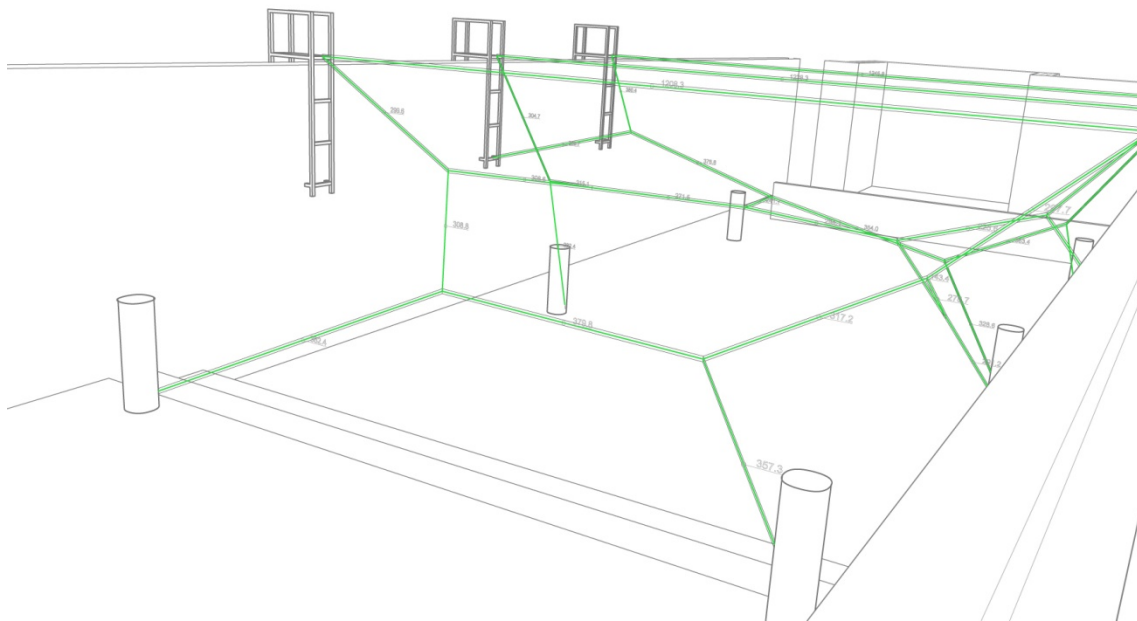




Слика 5.4.18 Рачунарски модел – четврти ступањ упоредне анализе са физичким моделом. *Недоследности в.04*, Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.



Слика 5.4.19 Физички модел - четврти ступањ упоредне анализе са рачунарским моделом. *Недоследности в.04*, 6. Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.

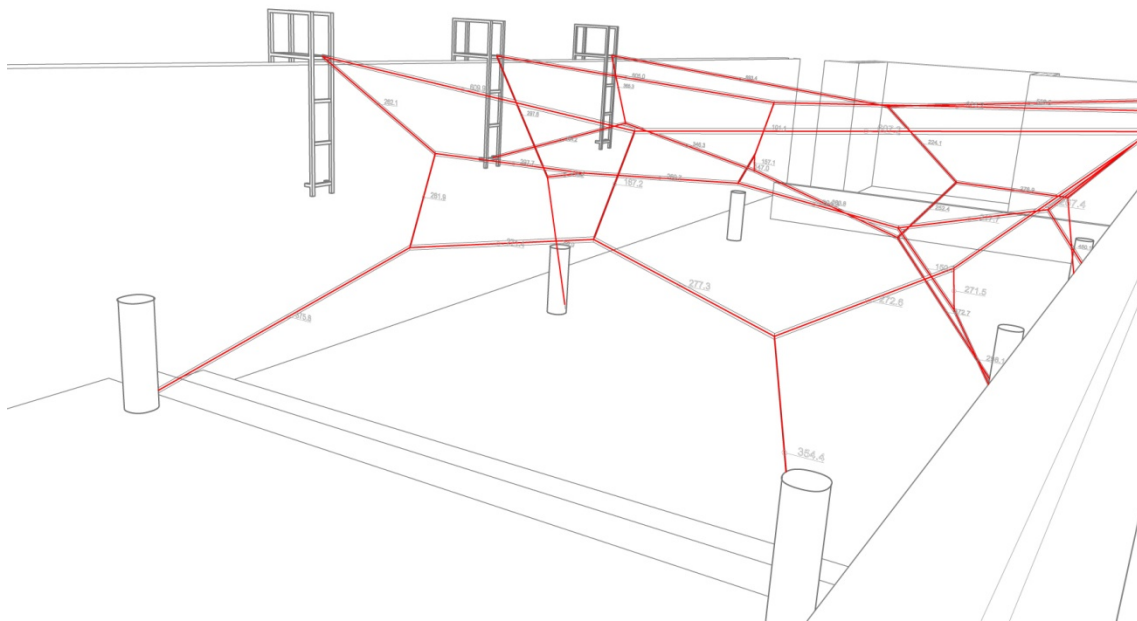


Слика 5.4.20 Рачунарски модел – пети ступањ упоредне анализе са физичким моделом. *Недоследности в.04*, Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.



Слика 5.4.21 Физички модел - пети ступањ упоредне анализе са рачунарским моделом. *Недоследности в.04*, 12:02h, 7. Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.





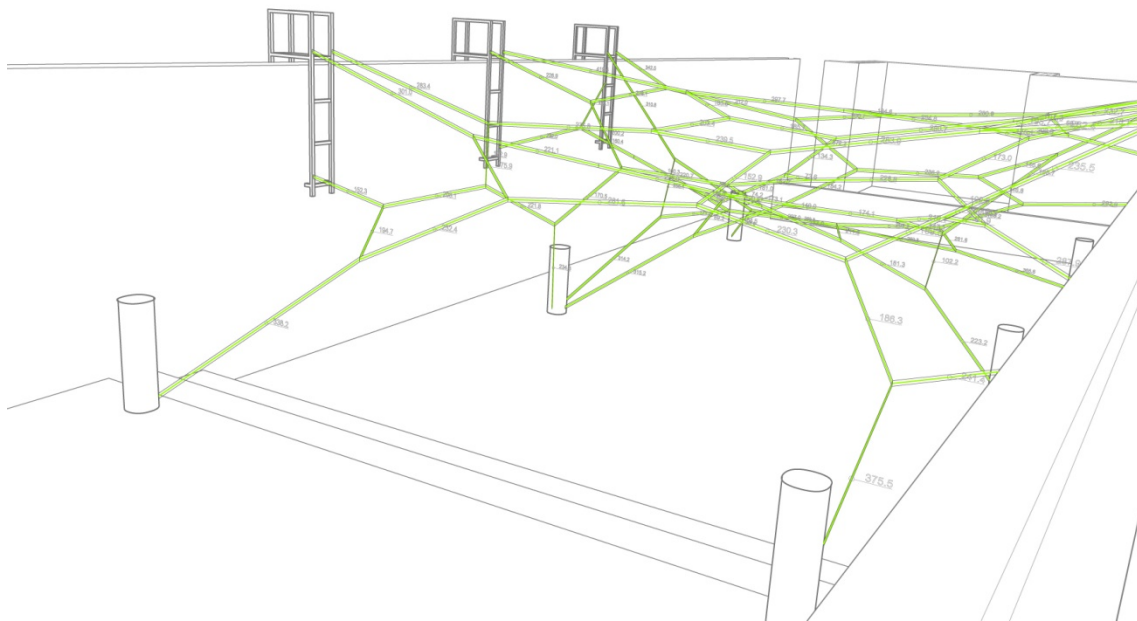
Слика 5.4.22 Рачунарски модел – шести ступањ упоредне анализе са физичким моделом. *Недоследности в.04*, Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.



Слика 5.4.23 Физички модел – шести ступањ упоредне анализе са рачунарским моделом. *Недоследности в.04*, 12:24h, 7. Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.



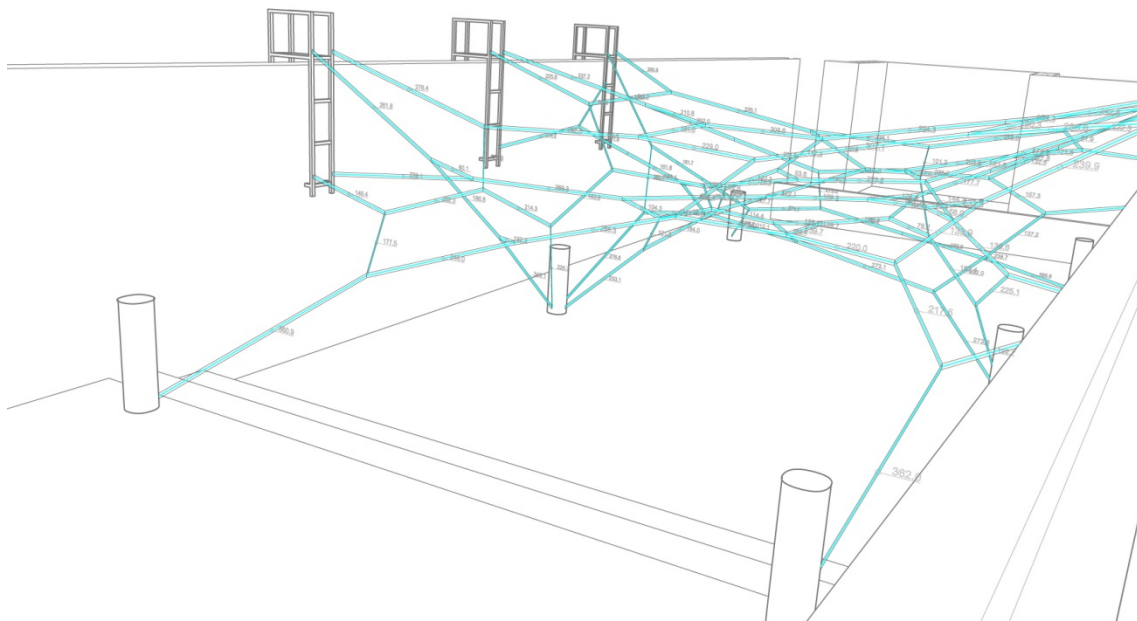




Слика 5.4.26 Рачунарски модел – осми ступањ упоредне анализе са физичким моделом. *Недоследности в.04*, Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.



Слика 5.4.27 Физички модел – осми ступањ упоредне анализе са рачунарским моделом. *Недоследности в.04*, 15:57h, 7. Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.

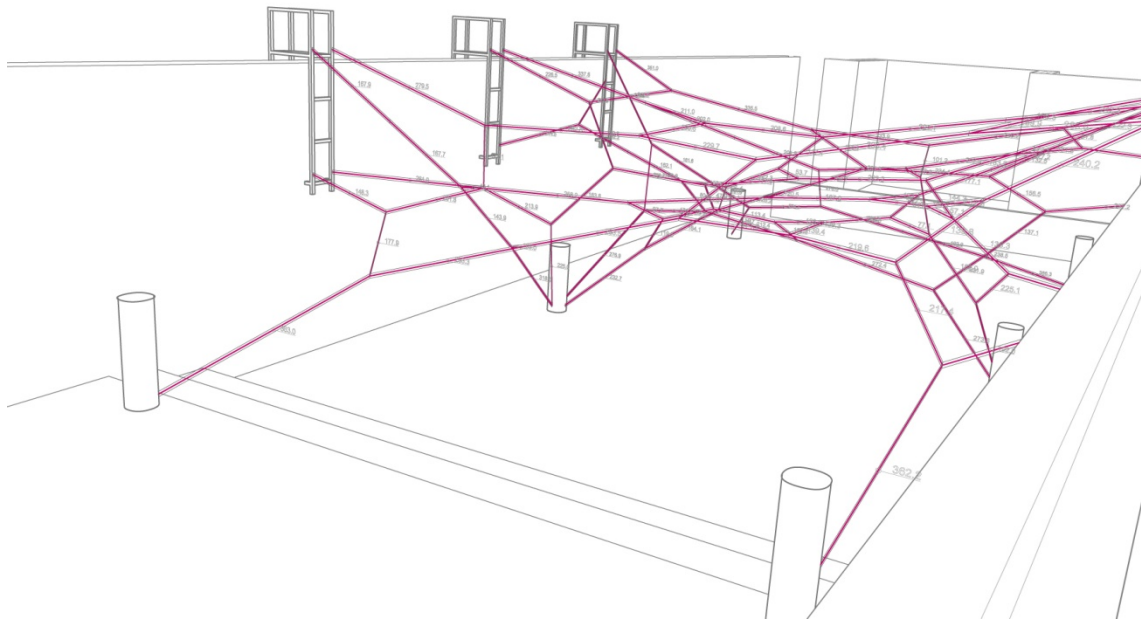


Слика 5.4.28 Рачунарски модел – девети ступањ упоредне анализе са физичким моделом. *Недоследности в.04*, Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.



Слика 5.4.29 Физички модел – девети ступањ упоредне анализе са рачунарским моделом. *Недоследности в.04*, 16:16h, 8. Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.

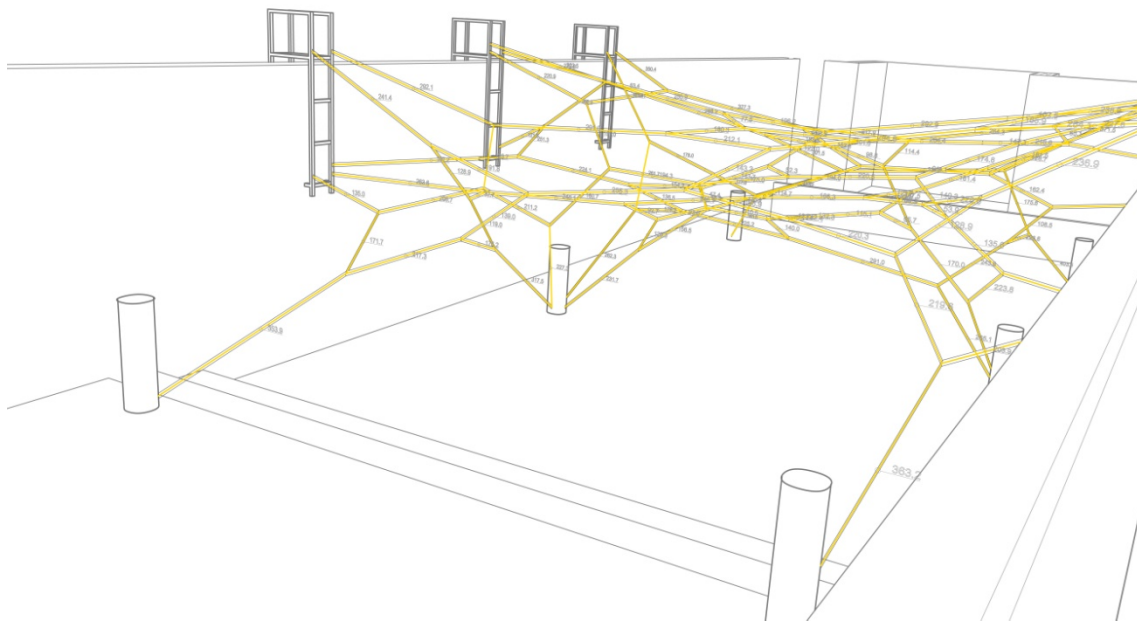




Слика 5.4.30 Рачунарски модел – десети ступањ упоредне анализе са физичким моделом. *Недоследности в.04*, Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.



Слика 5.4.31 Физички модел - десети ступањ упоредне анализе са рачунарским моделом. *Недоследности в.04*, 16:26h, 8. Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.

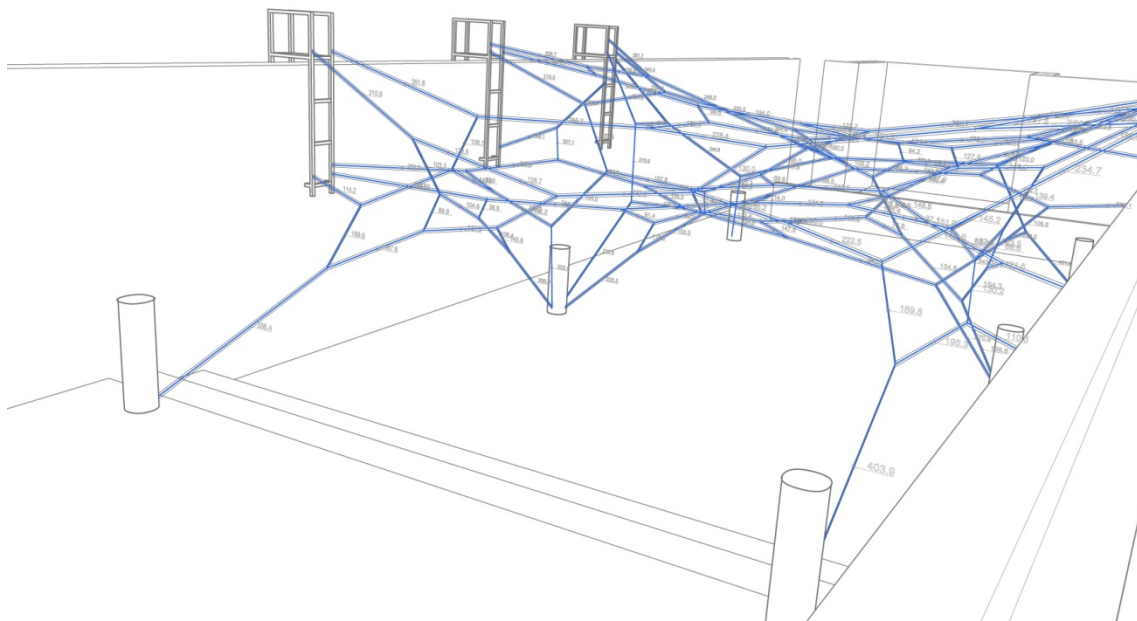


Слика 5.4.32 Рачунарски модел – једанаести ступањ упоредне анализе са физичким моделом. *Недоследности в.04*, Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.

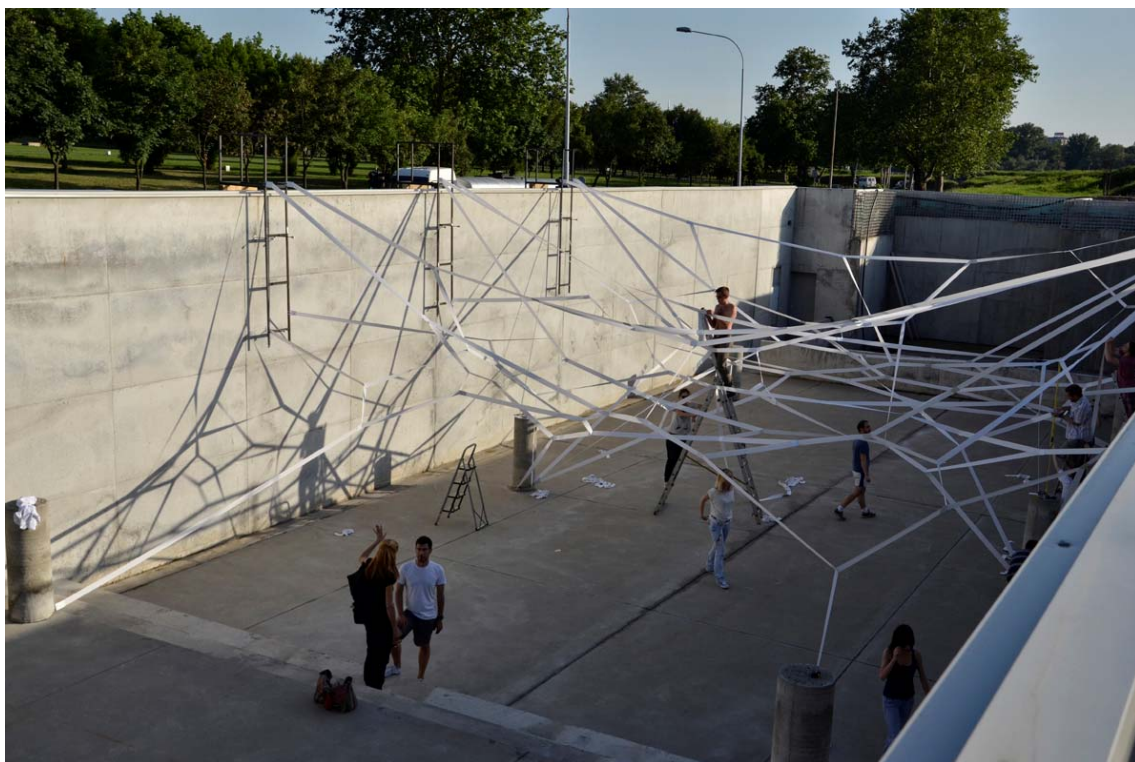


Слика 5.4.33 Физички модел - једанаести ступањ упоредне анализе са рачунарским моделом. *Недоследности в.04*, 17:20h, 8. Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.

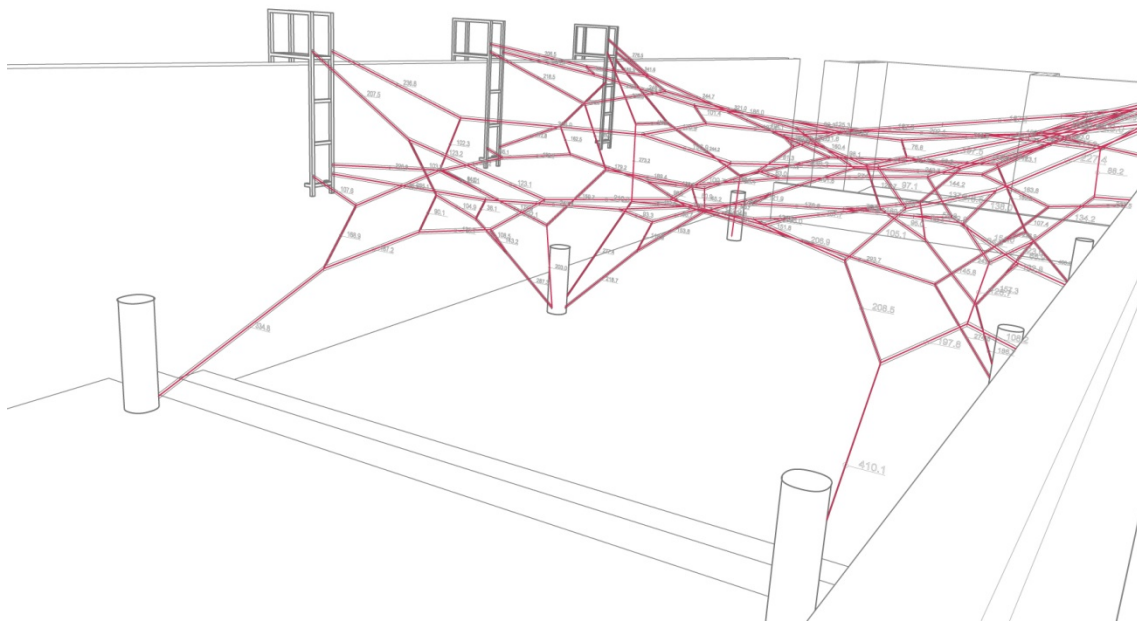




Слика 5.4.34 Рачунарски модел – дванаест ступањ упоредне анализе са физичким моделом. *Недоследности в.04*, Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.



Слика 5.4.35 Физички модел - дванаести ступањ упоредне анализе са рачунарским моделом. *Недоследности в.04*, 17:23h, 8. Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.

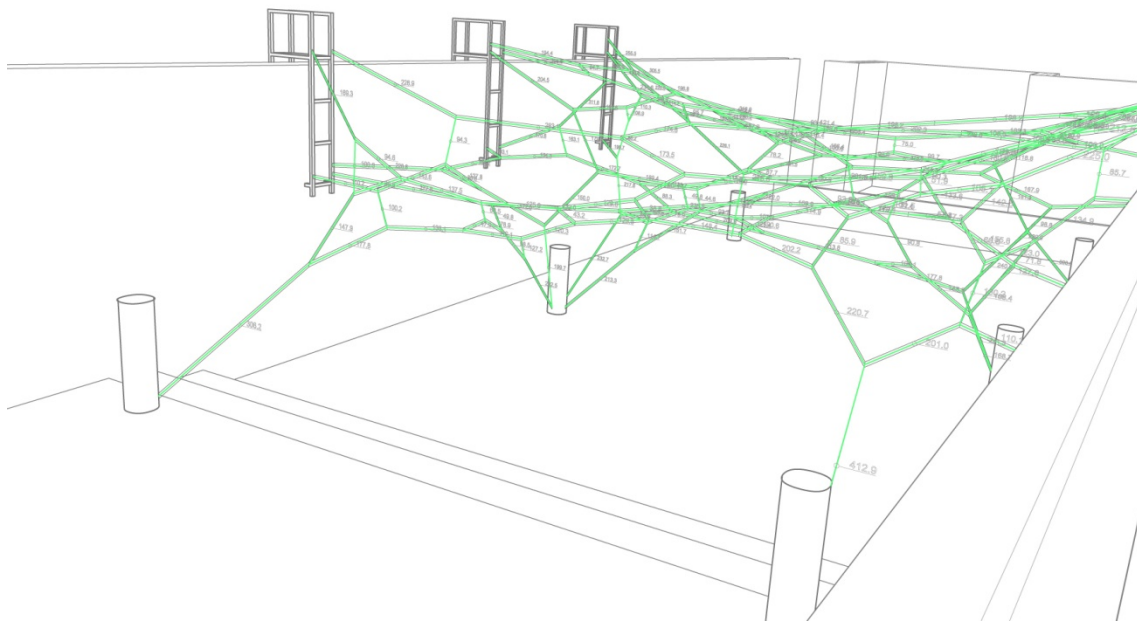


Слика 5.4.36 Рачунарски модел – тринаести ступањ упоредне анализе са физичким моделом. *Недоследности в.04*, Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.



Слика 5.4.37 Физички модел - тринаести ступањ упоредне анализе са рачунарским моделом. *Недоследности в.04*, 18:31h, 8. Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.

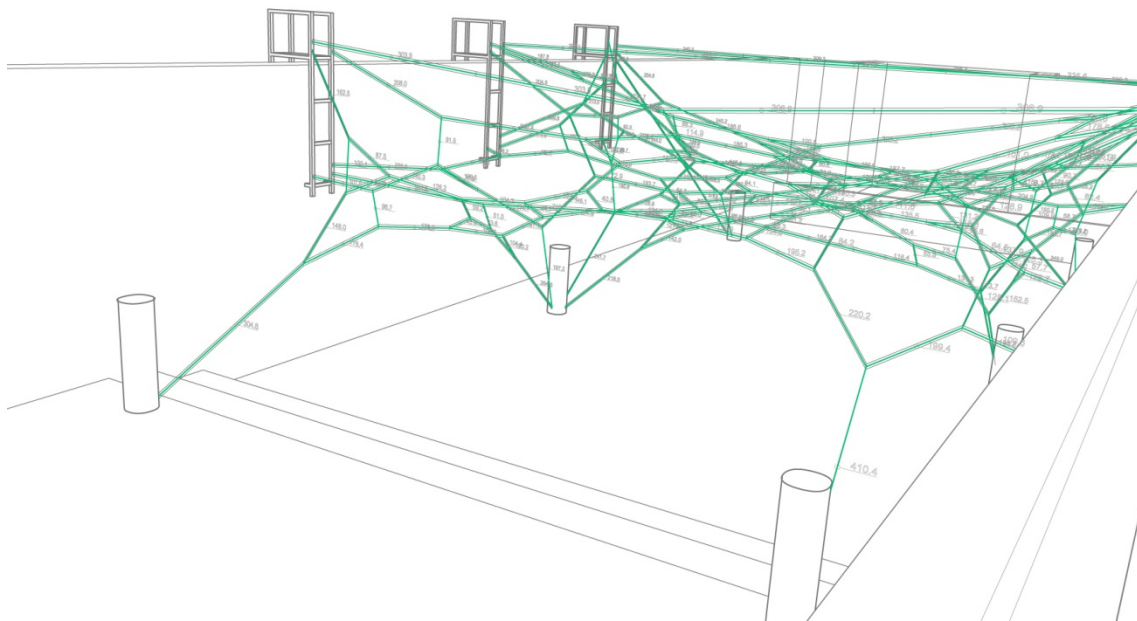




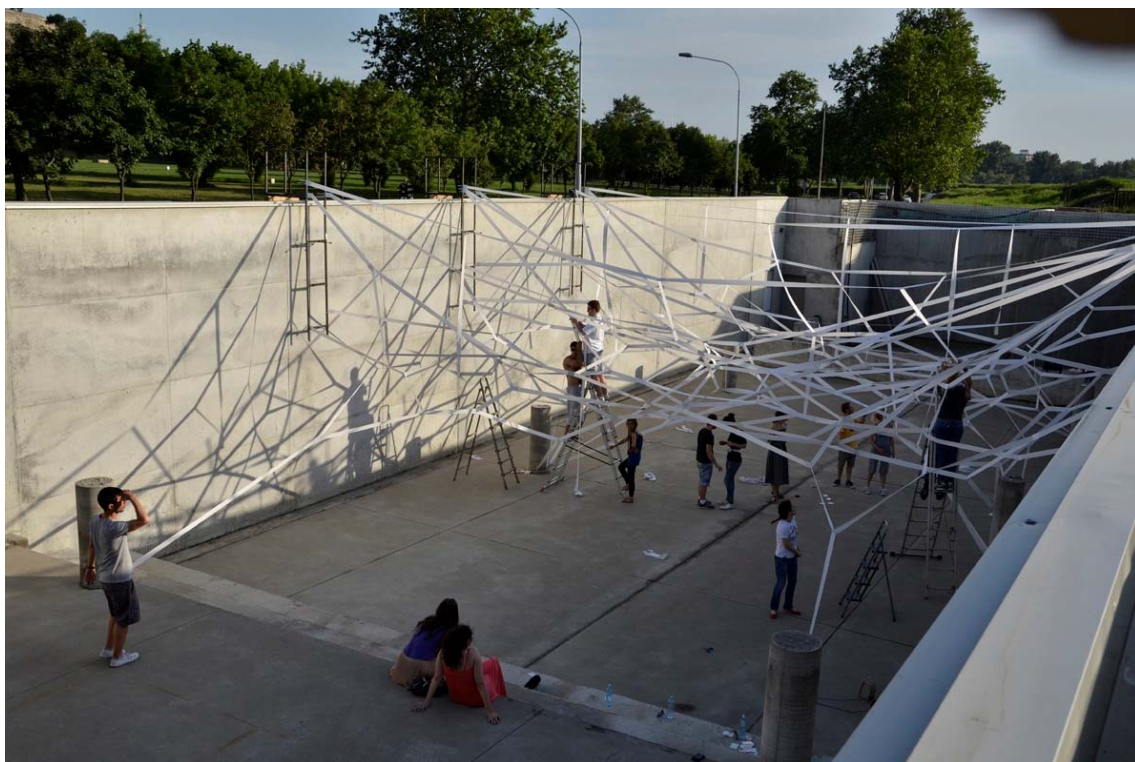
Слика 5.4.38 Рачунарски модел – четрнаести ступањ упоредне анализе са физичким моделом. *Недоследности в.04*, Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.



Слика 5.4.39 Физички модел - четрнаести ступањ упоредне анализе са рачунарским моделом. *Недоследности в.04*, 15:40h, 9. Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.

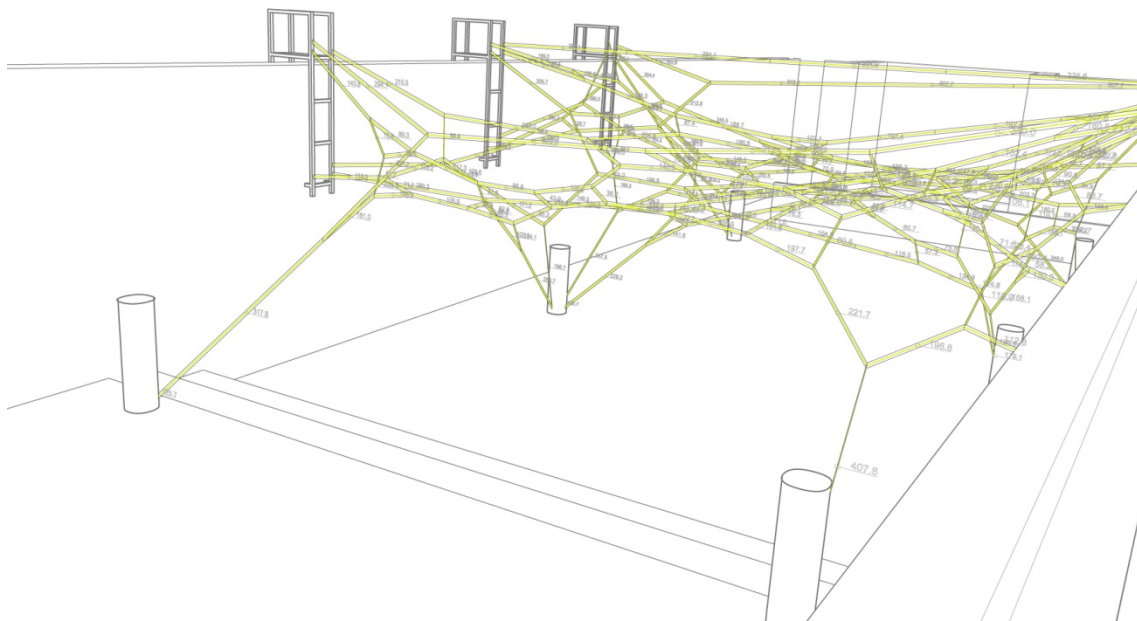


Слика 5.4.40 Рачунарски модел – петнаести ступањ упоредне анализе са физичким моделом. *Недоследности в.04*, Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.



Слика 5.4.41 Физички модел - петнаести ступањ упоредне анализе са рачунарским моделом. *Недоследности в.04*, 17:30h, 9. Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.

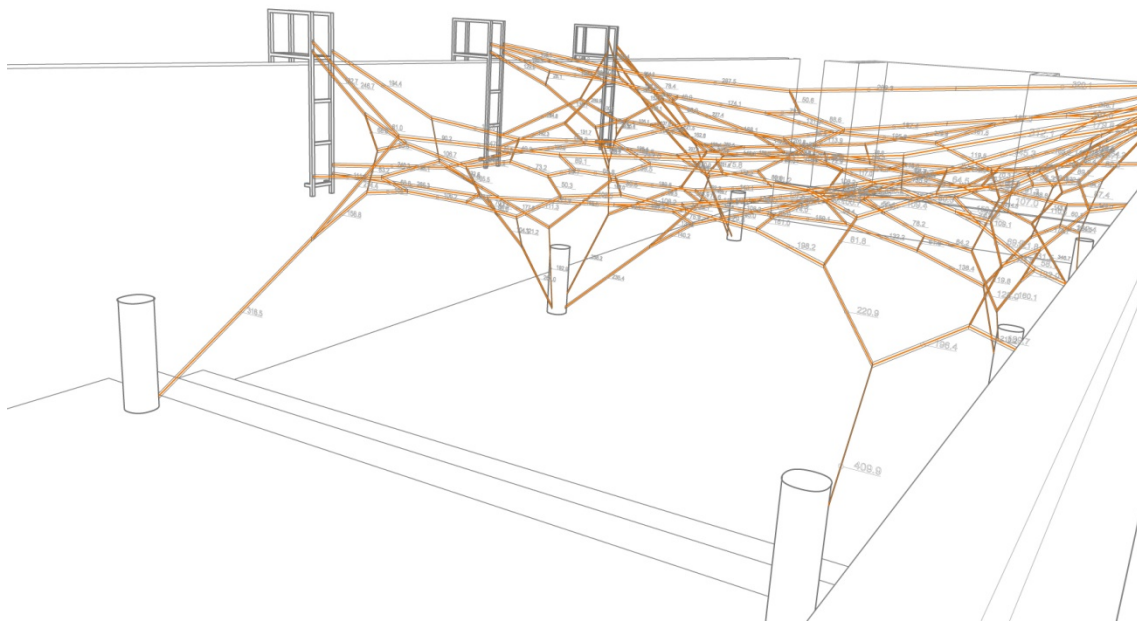




Слика 5.4.42 Рачунарски модел – шеснаести ступањ упоредне анализе са физичким моделом. *Недоследности в.04*, Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.



Слика 5.4.43 Физички модел - шеснаести ступањ упоредне анализе са рачунарским моделом. *Недоследности в.04*, 18:06h, 9. Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.

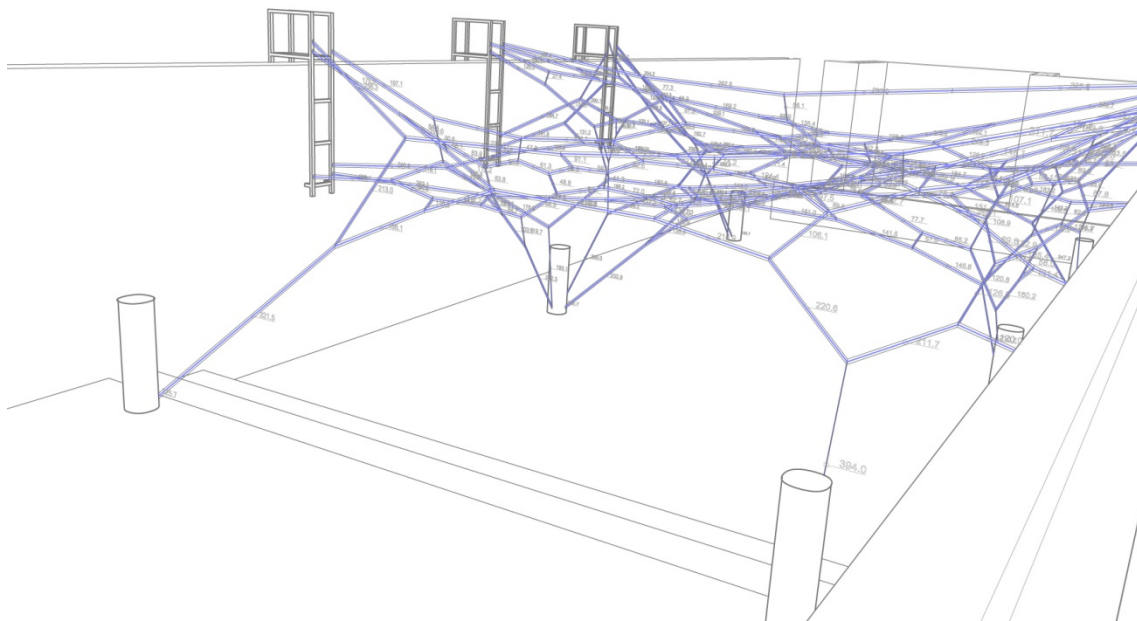


Слика 5.4.44 Рачунарски модел – седамнаести ступањ упоредне анализе са физичким моделом. *Недоследности в.04*, Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.



Слика 5.4.45 Физички модел - седамнаести ступањ упоредне анализе са рачунарским моделом. *Недоследности в.04*, 18:21h, 9. Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.

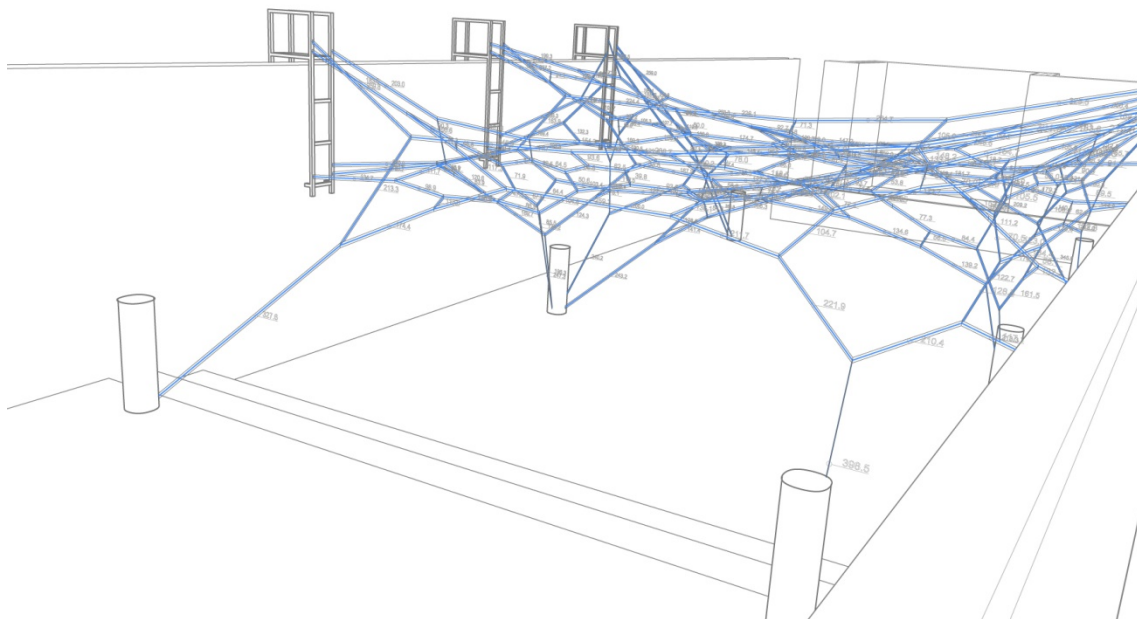




Слика 5.4.46 Рачунарски модел – једанаести ступањ упоредне анализе са физичким моделом. *Недоследности в.04*, Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.



Слика 5.4.47 Физички модел - осамнаести ступањ упоредне анализе са рачунарским моделом. *Недоследности в.04*, 09:44h, 10. Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.



Слика 5.4.48 Рачунарски модел – деветнаести ступањ упоредне анализе са физичким моделом. *Недоследности в.04*, Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.



Слика 5.4.49 Физички модел - деветнаест ступањ упоредне анализе са рачунарским моделом. *Недоследности в.04*, 11:19h, 10. Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.

Запажамо да карактер резултујућег прототипа потврђује очекивања о приближавању природе модела и изведеног архитектонског пројекта. С друге стране, запажамо да примена рачунарске симулације заокружује развој технике моделовања структура од еластомера. Констатујемо да се разумевање еластичног својства материјала и његовог утицаја на процесе концепције и конструкције модела, постепено развија током спровођења експеримената у низу, који траје од прве радионице па све до припрема за ову радионицу. Увиђамо да се способност експлоатације карактеристика материјала првобитно заснива на интуитивној спознаји али да се техника моделовања постепено развија и постаје прецизнија и рационалнија. Током спровођења итеративне секвенце експеримената, апроксимативно разумевање еластичног понашања материјала је постепено унапређивано и сада је преведено у експлицитну и параметарски засновану технику моделовања. Запажамо да примена наменских алата постаје окосница развоја методолошких одредница, које обухватају итеративну структуру процеса архитектонског пројектовања. Примена рачунарске симулације омогућава значајно економичнији процес рада и могућност испитивања већег броја сценарија за раст структуре.

Сазнања стечена у току ове радионице, укључују боље разумевање процеса континуиране промене просторних структура, као и могућност за успостављање пројектантских стратегија и техника моделовања, које се заснивају на формирању повратних токова информација између модела и окружења. У претходном току истраживања, развојни пут модела се односио на низ адаптација према променама, које настају услед раста структуре, односно путем придруживања компоненти. Током ове радионице је истражена могућност повезивања адаптивног капацитета моделоване структуре са променама, које настају у њиховом окружењу.

*Сарадници: Милутин Церовић, Милан Катић и Милица Тасић.  
Програмирање: Бојан Митровић -група за математику, архитектонску геометрију и рачунарски засновано пројектовање (CAAD) на Архитектонском факултету Универзитета у Београду. Студенти: Никола Милановић, Ивана Радовић, Катарина Мерћеп, Марија Поп-Митић, Данка Сијерковић, Јован Пуцаревић, Деа Колачек, Милош Симић, Емилија Златковић, Душан Тасић, Ана Тодосијевић, Марко Вукајловић и Невена Бјелаковић.*

## 5.5 Пројектантска радионица „Недоследности в.05“ 03.-09. септембар 2012. године, Грађевински факултет Свеучилишта у Ријеци

Радионица је одржана у оквиру иницијативе под називом „Геометрија у образовању будућих архитеката“ (*Geometry Education for Future Architects*), која је под покровитељством Немачке организације за академску размену (*Deutsche Akademische Austausch Dienst*), у оквиру летње школе, окупила студенте и наставнике неколико универзитета из региона југоисточне Европе, међу којима су: Грађевински факултет Свеучилишта у Ријеци, Институт за архитектуру Универзитета у Берлину (*Institut für Architektur, Technische Universität Berlin*), Институт за геометрију Универзитета у Дрездену (*Institut für Geometrie, Technische Universität Dresden*), Архитектонски факултет Свеучилишта у Загребу, Факултету техничких наука Универзитета у Новом Саду, Грађевинско-архитектонски факултет у Нишу, Архитектонско-грађевински факултет Универзитета у Бањалуци, Математички институт у Будимпешти (*Mathematica Intenzet*), Грађевински факултет Универзитета у Печују, (*Pollack Mihály Műszaki és Informatikai, Pécsi Tudományegyetem*). Радионица се одвија паралелно са неколико других и веома различитих догађања у згради Грађевинског факултета Свеучилишта у Ријеци, на кампусу Трсат. Планирано је да се експеримент реализује у веома концизном формату, који се састоји од три кратке сесије у укупном трајању од шест часова. За учешће се пријавило 16 учесника, међу којима је, поред студената, било и неколико наставника наведених универзитета.

Један од постављених циљева ове летње школе односи се на успостављање бољег разумевања места и улоге познавања геометрије у савременом архитектонском образовању, у односу на промене, које настају применом рачунарски заснованих система у архитектонском пројектовању. У таквом контексту, ова пројектантска радионица је с једне стране конципирана као наставак истраживања кроз пројекат, чији ток чини низ претходно описаних радионица, а с друге као пројектантска вежба која има за циљ да упозна студенте са техникама моделовања, које укључују карактеристике материјала у геометријски засновано разумевање архитектонске форме, путем примене алата у виду софтверске апликације, која је развијена током претходне радионице, а затим и унапређена за потребе ове радионице.



Приликом првог двочасовног сусрета са учесницима, представљен је целокупан ток истраживања кроз пројект, заједно са резултатима који су постигнути током четири претходна експеримента. Софтверска апликација је инсталирана на намењеним рачунарима у виду екстензије за платформу Рајносерос (*Rhinoceros*) и студенти су упознати са њеним корисничким интерфејсом. Претходно је припремљен рачунарски, тродимензионални модел хипотетичког просторног окружења, који је представљен као просторни контекст задатка у оквиру кога је од учесника радионице очекивано да истраже могућности за успостављање нове просторне структуре и конституисања конкретног модела применом рачунарске симулације.

Током два наредна сусрета, студенти индивидуално моделују просторне структуре, ослањајући се на примену софтверске апликације и пренета сазнања, која су стечена током претходних радионица у оквиру којих је реализовано неколико прототипских модела. Посебно је наглашена улога материјала, кога карактерише изражени распон еластичне деформације. Студентима је посебно указано на потребу да се истражи однос између карактеристика материјала и геометријске логике у процесу архитектонског пројектовања.

За разлику од претходних пројектантских радионица, циљеви ове радионице су ограничени на продукцију дигиталних модела, као знатно економичнијег приступа истраживању. Реализација просторних и прототипских модела није предвиђена услед лимитираног времена и техничких средстава које смо имали на располагању. Запажамо да је изостанак физичког контакта са градивним материјалом, поред поменутих ограничења у виду времена и других услова за одржавање радионице, у великој мери утицао на ток истраживачког рада и валидност крајњих резултата. Увиђамо да студенти са лакоћом производе дигиталне моделе, чија сложеност, број компоненти и спојница одговара претходним физичким моделима, али да имају тешкоће при формулисању свеобухватне организационе или структуралне стратегије модела.

Запажамо да се развијена софтверска апликација „Паук“ (*Spider*) користи без тешкоћа и да учесници радионице брзо развијају разумевање корисничког интерфејса, који им стоји на располагању. Видимо да примена рачунарске симулације омогућава ефикасан ток истраживања, без значајног утрошка времена и материјала.

*Сарадник: Милутин Церовић. Студенти: Ivan Volf, Iva Kodrnja, Nikoleta Sudeta, Nikolina Kovacevic, Marina Đurkova, Dunja Salaj, Nicole Remder, Hristina Krstić, Jovan Đerić, Boris Bogosavljević, Diana Senaši, Olivera Milosavljević Nikolić, Bojan Jovančević, Igor Sjeverac, Maura Dunato i Andreas Nagy.*

## 6.6 Закључак

У овој глави је приказан след активности у оквиру пет пројектантских радионица током којих је реализована серија прототипских модела. Практичним и експерименталним путем извршена је провера хипотетичке претпоставке према којој адаптивни принципи у архитектонском пројектовању могу бити повезани са еластичним својством грађевинских материјала. Испитан је однос између променљиве молекуларне структуре материјала и артикулисане промене архитектонске форме. Током истраживања, и на основу материјално заснованог испитивања и реализације серије прототипских модела, бележимо развој наменских алата, техника и методолошких одредница које се заснивају на примени адаптивних принципа током процеса архитектонског пројектовања. Иницијално интуитивни приступ унапређен је у егзактну и параметарски засновану технику моделовања. У оквиру припрема за четврту радионицу, реализовано је техничко решење, у виду софтверске апликације за симулацију процеса физичког моделовања, које паралелно са геометријском концепцијом модела омогућава непосредно укључивање мерљивих карактеристика материјала и утицаја из окружења.

Забележени су остварени резултати и запажања која стичемо током овог процеса. Путем реализације прототипских модела вршимо проверу валидности претпоставки и очекивања које смо формирали током *ex ante* анализе и забележили у претходној глави. Организација истраживачког процеса у виду низа пројектантских радионица омогућила је да на основу *ex post* анализе, одмах након сваке радионице, формирамо нове претпоставке које су примењене и проверене у радионицама које су уследиле. Услед итеративне структуре спроведеног истраживања кроз пројекат, која се заснива на изради серије прототипских модела током спровођења пројектантских радионица, бележимо стално преклапање између чинова евалуације спроведеног и планирања наредног експеримента,

односно цикличну смену између *ex ante* и *ex post* анализе. Запажања која су формирана на основу сваког реализованог модела стичемо коинцидентно са припремама за следећи прототипски модел у низу, услед чега наилазимо на тешкоће у остваривању апсолутне диференцијације између два сегмента истраживања кроз пројекат, које чине процес пројектовања и процес евалуације. Идентификација и испитивање успостављене везе између формирања и провере претпоставки, продубљује поље деловања у архитектонском пројектовању, путем старања оквира за примену итеративних и адаптивних принципа у концепцији просторних организација, структура и окружења.

Све информације прикупљене током описаних пројектантских радионица, прво ћемо систематизовати, а потом анализирати и интерпретирати у наредној глави. Анализу и интерпретацију вршимо на основу њиховог поређења са претпоставкама које настају током истраживања кроз пројекат, као и поређењем са претпоставкама које су формиране у првом делу ове дисертације, који се односи на теоријско разјашњење адаптивних принципа кроз тумачење улога аналогног, перформативног и прототипског модела у итеративној структури процеса архитектонског пројектовања.

**Интерпретација и анализа податка добијених током пројектовања и реализације прототипских модела од еластомера**

<b>6.0</b>	Увод.....	196
<b>6.1</b>	Систематизација циљева и претпоставки начињених током поставке истраживања кроз пројекат - <i>ex ante</i> анализа .....	198
<b>6.2</b>	Систематизација запажања и закључака остварених током истраживања кроз пројекат - <i>ex post</i> анализа.....	201
<b>6.3</b>	Интерпретација добијених података.....	210
6.3.1	Аналогни однос између еластичности материјала и адаптивности просторних организација .....	211
6.3.2	Успостављање просторних организација путем иницијалних и емергентних правила .....	213
6.3.3	Адаптивни принципи и способност саморегулације просторних организација .....	215
<b>6.4</b>	Евалуација испуњености постављених циљева и задатака истраживања .....	216
<b>6.5</b>	Закључак .....	224

## 6.0 Увод

Заједно са поставком истраживања кроз пројекат и реализацијом серије прототипских модела путем пројектантских радионица, што је документовано у претходне две главе, анализа резултата истраживања кроз пројекат чини окосницу ове дисертације. Интерпретација добијених резултата врши се поређењем претпоставки, које формирамо током припрема за извођење пројектантских радионица и запажања, која стичемо путем спровођења експеримената током пројектантских радионица, односно током пројектовања и реализације прототипских модела од еластомера. Истовремено, анализа и интерпретација податка добијених током пројектантских радионица, врши се према претпоставкама које су формиране у првом делу ове дисертације, који се односи на теоријско разјашњење адаптивних принципа кроз тумачење улоге аналогног, перформативног и прототипског модела у итеративној структури процеса архитектонског пројектовања. У завршном поглављу ове главе, врши се евалуација остварених резултата кроз процену испуњености постављених циљева и задатака истраживања, који су дефинисани у уводном делу дисертације, међу којима централно место заузима допринос у методологији архитектонског пројектовања кроз продубљивање разумевања улоге адаптивних принципа у процесу концепције и реализације просторних организација, структура и окружења.

Анализа резултата истраживања кроз пројекат, која је забележена у овој глави, започиње систематизацијом прикупљених података. Претпоставке, које су формиране путем *ex ante* анализе током припрема за извођење експеримената у виду пројектантских радионица, организоване су у три засебне, али међусобно условљене групе: оне које се односе на карактеристике градивног материјала; оне које везујемо за технику моделовања, и оне које се односе на методологију спровођења експеримената. Запажања, која су формирана путем *ex post* анализе током спровођења пројектантских радионица, овде су систематизована тако да истовремено рефлектују структуру три организационе целине које одговарају наведеним групама претпоставки, које су формиране током *ex ante* анализе, као и претпоставки које су дефинисане у првом, теоријском делу дисертације.

Измештањем проблема истраживања из теоријског у експериментални контекст, што тематски одређује разлику између првог и другог дела ове дисертације, покренуто је питање даљег развоја истраживања адаптивних принципа у архитектонском пројектовању путем материјално заснованих испитивања теоријских идеја „Поља“ (Allen, 1997) и „Мреже“ (Wigley, 2001). Почетну одредницу истраживања кроз пројекат чини избор градивног материјала, еластомера кога карактерише опсежан распон еластичне деформације. Способност промене сопствене структуре и форме еластомера је посматрана као потенцијал, који повезујемо са концепцијом и реализацијом адаптивних просторних организација, структура и окружења. У закључном делу четврте главе, која се односи на поставку истраживања кроз пројекат, изнето је запажање према коме повезаност између карактеристика материјала, технике моделовања и саме методологије спровођења тестова чини једну од најважнијих карактеристика ове студије. Након спровођења експеримената и стицања практичних сазнања, у овој глави још једном дискутујемо о повезаности еластичног својства изабраног градивног материјала и адаптивних принципа у оквирима методологије архитектонског пројектовања.

### 6.1. Систематизација циљева и претпоставки начињених током поставке истраживања кроз пројекат - *ex ante* анализа

У оквиру систематизације прикупљених података још једном наводимо основни циљ истраживања, који је подједнако релевантан за први и други део ове дисертације и односи се на продубљивање улоге адаптивних принципа у концепцији и реализацији сложених просторних организација, структура и окружења. Такође, понављамо секундарни циљ истраживања, који се непосредно везује за истраживање кроз пројекат и односи се на продубљивање технике моделовања и могућности пројектовања:

- Структура, које поседују способност адаптације или промене сопствене форме према утицајима из њиховог окружења,
- просторних организација, које су у сталном расту,
- просторних организација, које поседују капацитет саморегулације,
- структура, које се састоје од великог броја различитих елемената, који су међусобно повезани у једну целину.

Истовремено, понављамо да основни задатак истраживања кроз пројекат чини провера заснованости хипотетичких принципа кроз израду и евалуацију серије прототипских модела. Основне претпоставке су формирана током *ex ante* анализе и припрема за извођење експеримената у формату пројектантских радионица, а на основу дискусије, која је изнесена у првом делу ове дисертације и која се односи на теоријско разјашњење адаптивних принципа, кроз тумачење улога аналогног, перформативног и прототипског модела у итеративној структури процеса архитектонског пројектовања.

Анализа резултата истраживања кроз пројекат започиње систематизацијом прикупљених података. Претпоставке, које формирамо у виду *ex ante* анализе током припрема за извођење експеримената, организоване су у три засебне, али међусобно условљене целине које везујемо за:

- Избор и анализу особина материјала, које карактерише значајан распон еластичне деформације,
- формулацију технике моделовања, која се заснива управо на перформансама предложеног материјала,

- одређивање методолошких принципа у архитектском пројектовању, према којима се спроводе експерименти у виду секвенце пројектантских радионица.

У оквиру систематизације прикупљених података још једном наводимо да је поставка истраживања кроз пројекат заснована на теоријским моделима „Поља“ (Allen, 1997) и „Мреже“ (Wigley, 2001) као полазиштима, на основу којих се покреће испитивање могућности за концепцију и реализацију комплексних и променљивих просторних окружења путем примене адаптивних принципа у процесу архитектонског пројектовања и то кроз употребу аналогног, перформативног и прототипског модела. Измештањем проблема истраживања из теоријског у експериментални контекст, што тематски одређује разлику између првог и другог дела ове дисертације, покренуто је питање даљег развоја архитектонских идеја „Поља“ и „Мреже“, путем материјално заснованих испитивања. Управо зато, почетну одредницу истраживања кроз пројекат чини избор градивног материјала - еластомера, кога карактерише опсежан распон еластичне деформације, односно изражена способност промене сопствене молекуларне грађе и форме, коју повезујемо са потенцијалима концепције и реализације адаптивних просторних организација, структура и окружења. У ранијем току истраживања, изнето је запажање према коме повезаност између карактеристика материјала, технике моделовања и методолошких одредница за спровођење тестова, чини једну од најважнијих карактеристика ове студије. Међутим, ради јаснијег прегледа, задржана је структура према којој су претпоставке сврстане у три наведене целине.

Група претпоставки које везујемо за перформансе градивног материјала се темељи на идеји о успостављању аналогног односа између еластичности материјала и адаптивности просторних организација. Постављено је очекивање према коме карактеристике градивног материјала могу имати непосредан формативни утицај на просторне организације, структуре и окружења у току моделовања. Предвиђено је да утицаји из окружења, као што су температура (C), релативна влажност ваздуха (%) или јачина ветра (m/s), путем дејства на хемијску структуру градивног материјала, такође могу имати формативни утицај на просторне организације, структуре и окружења у току моделовања. Претпостављено је да примена лако доступних материјала и физички заснованих



техника моделовања, које не захтевају велико предзнање у области архитектонског пројектовања, омогућава ефикасно спровођење експеримената у оквиру едукативног програма.

Група претпоставки, које везујемо за технику моделовања, заснива се на закључцима дискусије о улози аналогног, перформативног и прототипског модела, која чини први теоријски део ове студије. Претпостављено је да модел може имати генеративну улогу у итеративном процесу пројектовања. Претпостављено је да примена рачунарски заснованог моделовања омогућава ефикаснију примену адаптивних принципа у процесу пројектовања. Предвиђена је синхронизована примена рачунарских и физичких техника моделовања. Постављено је очекивање да ће продукција прототипских модела омогућити приближавање процеса концепције и реализације архитектонског пројекта. Предложена техника се заснива на обједињавању великог броја индивидуалних компоненти од еластомера у једну хомогену структуру према два паралелна принципа. Први, или иницијални је геометријска логика, према којој се компоненте спајају у једну структуру путем систематски примењених правила. Други, или емергентни принцип је једнако значајан, али много мање упадљив, и односи се на инхерентне особине предложеног градивног материјала, које омогућавају физичку трансформацију сваке компоненте, тако да се током моделовања првобитно идентични елементи могу трансформисати у међусобно различите елементе.

Група претпоставки, које везујемо за развој методолошких одредница, обухвата разматрање стратегија за планирање и пројектовање сложених просторних организација, структура и окружења, чије основне одреднице преузимамо из теоријских модела „Поља“ и „Мреже“. Претпостављено је да примена адаптивних принципа проширује поље архитектонског деловања и омогућава концепцију и реализацију, просторних конфигурација, које се састоје од великог броја индивидуалних елемената и чија се уређеност заснива на успостављану односа између таквих елемената. Предвиђено је преиспитивање улоге аналогног, перформативног и прототипског моделовања у оквиру формирања пројектантских стратегија, које су засноване на адаптивним принципима.

## 6.2 Систематизација закључака и запажања остварених током истраживања кроз пројекат - *ex post* анализа

Запажања која су формирана путем *ex post* анализе, током и након спровођења пројектантских радионица, овде су систематизована тако да рефлектују организационе целине, према којима су претходно представљене претпоставке, које су формиране током *ex ante* анализе. Оваква систематизација извршена је ради лакшег спровођења упоредне анализе.

### 6.2.1 Опсервације и закључци начињени током пројектантске радионице „Недоследности в.01“, октобар 2010. године, Архитектонски факултет у Београду

Радионица, која је одржана на Архитектонском факултету у Београду у октобру 2010. године, чини први у низу серије експеримената. Као сваки почетак и овај је обележен испитивањем, које се првенствено односи на предложени материјал и технику моделовања. Веома брзо, потврђена су очекивања према којима примена лако доступних материјала, што не захтева велико предзнање и искуство у области архитектонског пројектовања, омогућава ефикасно извођење тестова. У истој мери, непосредан рад са градивним материјалом, путем физичких заснованих техника моделовања, омогућио је конструктивну примену интуиције у решавању проблема. Група закључака и запажања, које везујемо за карактеристике градивног материјала, темељи се на успостављању аналогног односа између еластичности материјала и адаптивности просторних организација. Реализовани модели потврђују да је еластичност прихваћена као инхерентно својство, које је са карактеристика структуре градивног материјала пренето на организационе и конструктивне потенцијале сложених, реактивних и диференцираних окружења. Запажамо да је успостављен континуитет између материјално заснованих истраживања и теоријских модела „Поља“ (Allen, 1997) и „Мреже“ (Wigley, 2001), који чине постављено полазиште истраживања. Усвојени приступ указује на могућност експлоатације перформативних особина материјала у концепцији просторних организација, као и на потребу за даљим приближавањем и разјашњењем ове идеје коју смо, према понашању материјала, назвали „недоследност“. С друге стране, недостатак крутости еластомера

идентификован је као проблем у реализацији структура, које су конструктивно аутономне.



Слика 6.2.1 Пројектантска радионица *Недоследности в.01*, октобар 2010, Архитектонски факултет у Београду. Студент Бојана Гочанин, доцент Ђорђе Стојановић, сарадник Милутин Церовић.

Група закључака и запажања, које везујемо за технику моделовања, првенствено се односи на процену реализације односа између иницијалних и емергентних правила раста структуре. Према постављеним очекивањима, већина учесника радионице прихвата и успешно примењује сугерисани приступ, према коме се иницијална правила раста структуре заснивају на геометријском протоколу за комбиновање модуларних елемената, док се емергентна правила заснивају на еластичном својству материјала. Запажамо да техника моделовања, путем системски утврђених правила, представља ефикасан вид симулације проблема раста просторних структура. Као потврду, видимо да се већински број реализованих модела успешно заснива на примени алгоритамски структурираног оквира за раст структуре. Међутим, инструментализација еластичног својства материјала у концепцији и реализацији сложених структура, током ове радионице није довољно прецизно сагледана и заснива се на индивидуалним импровизацијама и интуицији учесника радионице. Истовремено, запажамо да

концепција модела почива на непосредном раду са материјалом и просторном формом, без посредства архитектонских цртежа и рачунарски заснованих модела.

Група закључака и опсервација, које везујемо за развој методолошких одредница, обухвата процену конкретности реализованих модела у служби формирања пројектантских стратегија. Као што је сугерисано у поставци истраживања кроз пројекат, фокус учесника радионице је уместо на једно и коначно стање модела, усмерен на истраживање процеса који су динамични и које карактеришу промене унутар моделоване структуре. Управо стога, крајњи производ радионице чине секвенце фотографија и видео записи, који приказују адаптивне капацитете модела. Препознајемо да основне карактеристике произведених модела почивају на међусобној интеракцији великог броја компоненти. Видимо да се реализовани модели не заснивају на геометријском и хијерархијском уређењу, али да поседују сложене организационе принципе, који могу бити повезани за различитим пројектантским стратегијама.

#### **6.2.2 Опсервације и закључци начињени током пројектантске радионице „Недоследности в.02“, јул 2011. године, Универзитет у Техерану**

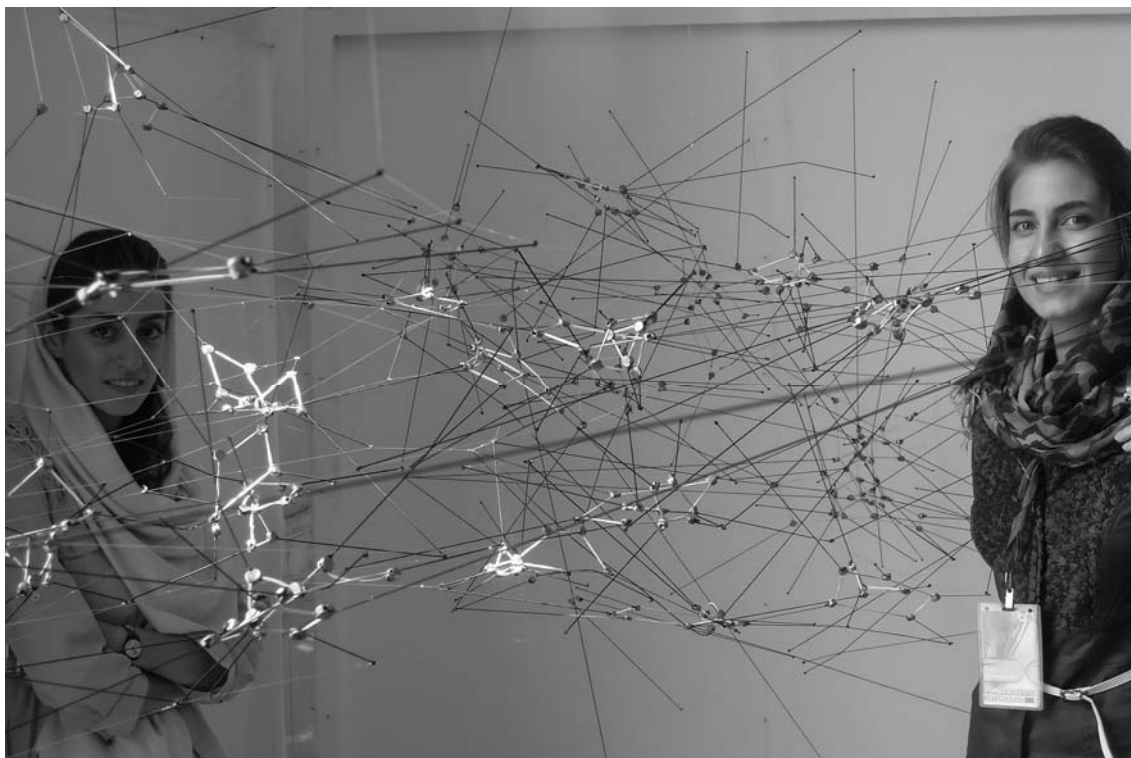
Током друге радионице, одржане на Универзитету у Техерану у организацији Архитектонске асоцијације (Architectural Association) из Лондона у јулу 2011. године, остварен је помак и почетак реализације серије прототипских модела. Група опсервација и закључака, које везујемо за карактеристике градивног материјала, потврђује неколико запажања из претходне радионице. На основу достигнућа из претходне радионице, знатно је олакшано успостављање аналогног односа између еластичности материјала и адаптивности просторних структура. Запажамо да је континуитет истраживачког рада, између две радионице, омогућио лакше и брже разумевање потенцијала еластичног понашања материјала у успостављању организационе и конструктивне логике модела. Већи избор лако доступних облика компоненти од еластомера, допринео је развоју диверзитета истраживања и реализацији различитих форми модела.

Група закључака и запажања, које везујемо за технику моделовања, обухвата продубљивање односа између геометријске логике и перформанси

материјала у процесу моделовања сложених просторних организација и структура. Истоветно као у експериментима, који су реализовани током претходне радионице, запажамо да су иницијална правила, заснована на геометријским принципима, примењена експлицитно у конструкцији модела, док су емергентна правила, заснована на карактеристикама материјала, примењена интуитивно и само имплицитно. Приликом дискусије са гостујућим критичарима, размотрено је да ли један од произведених модела може да постане прототип у процесу креирања употребног предмета или објекта. Постављено питање је покренуло дискусију о могућностима измене приоритета у архитектонском пројектовању, према којима логика конструкције или материјализације архитектонске форме може да преузме значај над функционално детерминисаном логиком. Један од закључака дискусије указује на то да адаптивност архитектонске форме захтева неку врсту наменске неодређености у својој концепцији и да је такав приступ у архитектонском пројектовању условљен апстракцијом принципа просторне организације.

Група закључака и запажања, које везујемо за развој методолошких одредница, усмерена је на разјашњење улоге прототипског модела у процесу архитектонског пројектовања. На основу произведених модела, закључујемо да примена прототипа омогућава темељнију проверу пројектантских идеја и има кључну улогу у примени адаптивних принципа у процесу архитектонског пројектовања. Према претпоставци која је формирана током дискусије о прототипским моделима, и која је забележена у трећој глави, овакви модели су конципирани без размере и посматрани су као самосталне просторне структуре. Сâме димензије остварених модела су знатно веће у односу на структуре, које су реализоване током претходне радионице. Висина једног од реализованих модела досеже 12м, што указује на захтевност самог процеса конструкције и огледа се у излагању безбедносним ризицима и значајним количинама утрошеног материјала. Управо зато констатујемо да се сложеност оваквих подухвата приближава природи градње архитектонског пројекта. Запажамо да у оквиру едукативног контекста, примена модела у пуној размери омогућава развој разумевања специфичности фаза пројектовања и реализације, које одликују сваки грађевински пројекат. С друге стране, претпостављамо да у оквиру архитектонске праксе,

употреба оваквих модела може омогућити боље и темељније разумевање проблема који су везани за реализацију пројеката.



Слика 6.2.2 Пројектантска радионица *Недоследности в.02*, јул 2011, Универзитет у Техерану, гостујући програм Архитектонске асоцијације из Лондона. Студенти Shaghayegh Taheri и Parisa Hassanzadegan, доцент Ђорђе Стојановић, сарадник Mariam Pousti.

### 6.2.3 Опсервације и закључци начињени током пројектантске радионице „Недоследности в.03“, октобар 2011. године, галерија ОЗоне у Београду

Радионица, одржана у галерији Озон (Ozone) у октобру 2011. године, резултирала је само једним прототипским моделом, током чије израде је забележен низ опсервација и закључака. Група запажања, која се везује за карактеристике градивног материјала, надовезује се на претходно стечена сазнања и односи се на даљи развој способности инструментализације перформанси материјала током процеса концепције и реализације модела.

Група закључака и запажања, које везујемо за технику моделовања, првенствено се односи на развој протокола за конструкцију модела, путем кога је синхронизовано деловање шеснаест учесника радионице. Испуњено је очекивање према коме је примена иницијалних правила, заснованих на геометријској логици „Л система“, омогућила раст структуре модела, путем симултаног зачетка

конструкције, на пет различитих позиција. Запажамо да еластично својство материјала, заједно са применом раскидивих веза међу компонентама, омогућава доношење пројектантских одлука на основу спровођења вишеструког броја проба. Постигнута је већа флексибилност и могућност непосредног тестирања током процеса моделовања. Видимо да могућност једноставне модификације просторног модела, ради примене адаптивних принципа током концепције просторних организација, умањује улогу цртежа у процесу архитектонског пројектовања. Запажамо да значај унутрашње или молекуларне конфигурације градивног материјала постепено преовлађује над првобитно успостављеном геометријском логиком моделоване структуре. Уочавамо да је производ, оваквих емергентних правила, тешко представити путем примене традиционалног архитектонског цртежа. Идентификујемо потребу за прецизнијим разумевањем утицаја перформанси материјала на технику моделовања.



Слика 6.2.3 Модел *Недоследности в.03*, октобар 2011, Галерија Озоне, Београд. Фото Ана Костић.

Група закључака и запажања, које везујемо за развој методолошких одредница и пројектантских стратегија, огледа се у процени приближавања реализованог модела са теоријским позицијама Виглија (2001) и Алена (1997), које су идентификоване током поставке истраживања кроз пројекат. Видимо да структура произведеног модела успешно обједињује јако велики број

индивидуалних компоненти и да укупна уређеност структуре није нарушена континуалним растом, односно сталним придруживањем нових елемента. Запажамо да се организациона и конструктивна логика модела развијају паралелно и пропорционално са растом модела. Увећање броја конститутивних елемента омогућава успостављање већег броја веза између сегмената и постизање боље статичке стабилности читаве структуре. Видимо да добијена просторна конфигурација почива на успостављању локалних односа међу својим компонентама, и зато закључујемо да реализована структура не би могла бити унапред осмишљена, нити адекватно геометријски описана. Запажамо да међусобна повезаност компоненти и стварање великог броја локално различитих стања структуре, чине кључне карактеристике оствареног модела. Према постављеном очекивању, видимо да укупна структура истовремено настаје као производ постепеног придруживања нових елемената, и као последица сталне трансформације већ постојећих компоненти. Као што је очекивано, запажамо да промене у дистрибуцији оптерећења, које су последица придруживања нових компоненти и остваривања нових веза унутар структуре, изазивају промене у појединачним компонентама, које могу бити регистроване кроз осцилације њихових дужина. Закључујемо да читава структура стиче капацитет саморегулације или способност да се прилагоди променама које настају услед придруживања нових елемената. С друге стране, увиђамо да континуална променљивост прототипског модела постаје једна од његових суштинских карактеристика.

#### **6.2.4 Опсервације и закључци начињени током пројектантске радионице „Недоследности в.04“, јун 2012. године, двориште анекса Кула Небојша у Београду**

Током четврте радионице, одржане у дворишту анекса Кула Небојша у јуну 2012. године, реализован је највећи прототипски модел у оквиру овог истраживања. Група закључака и опсервација, које везујемо за карактеристике градивног материјала, односи се на испитивање формативног утицаја спољашњег окружења. Претходно успостављена аналогија између еластичности материјала и адаптивности просторних организација, сада је продубљена укључивањем



атмосферских и механичких утицаја. Евидентирани су промене укупне структуре модела, које су условљене односом између распона еластичне деформације материјала и осцилација у спољашњој температури окружења. Истовремено, испитан је механички утицај силе ветра, који због еластичности градивног материјала, проузрокује привремене промене структуре модела. Запажамо да, управо услед карактеристика градивног материјала, реализована структура може да реагује на промене у свом окружењу.

Група закључака и запажања које везујемо за технику моделовања обухвата развој новог техничког решења, у виду наменског пројектантског алата за симулацију утицаја својстава еластичности материјала током процеса моделовања просторних структура, што омогућава два кључна помака у сâмом току истраживања. Први се односи успостављање могућности за егзактну, уместо интуитивину, примену перформанси материјала, у току концепције и реализације модела, а други се односи на укључивање утицаја из окружења, управо путем развоја разумевања њиховог дејства на успостављање просторне конфигурације, која је предмет моделовања. Путем мерног поређења између геометрије рачунарског и изграђеног просторног модела, утврђена је прецизност и поузданост техничког решења. Установљена одступања између рачунарског и физичког модела не компромитују доследност и адекватност интерпретације карактеристика материјала путем наменског програмирања, већ се односе на организационе сложености процеса конструкције модела. Запажене су тешкоће у планирању сâме градње због великог броја спојева и конструктивних елемента, као и због проблема у преношењу мера са рачунарског на физички модел. Истовремено, предвиђени систем спојева, који се показао као поуздан и флексибилан, током процеса конструкције се испоставио као временски захтеван.

Потврђено је да овакав алат омогућава значајно економичнији процес рада због могућности прецизније процене потребног материјала и постојећег ризика пред почетак конструкције. С друге стране, остварена је могућност испитивања знатно већег броја сценарија за раст структуре током процеса моделовања. Бележимо да је један исти модел лако и успешно прилагођен новом окружењу услед непланиране промене локације, што такође потврђује да нови алат омогућава примену адаптивних принципа у концепцији просторних организација и формирање итеративне структуре процеса пројектовања.



Слика 6.2.4 Модел *Недоследности в.04*, јун 2012, анекс Куле Небојша, Београд. Фото: Ана Костић.

Група закључака и запажања, које везујемо за развој методолошких одредница, обухвата развој стратегија за пројектовање просторних организација и структура, које су променљиве и које су условљене променама у свом кружењу. Применом наменског програмирања, реализована је софтверска екстензија, која омогућава посматрање моделованог система кроз интеракцију са окружењем. Остварене су могућности истраживања формативног односа између спољашњих утицаја, као што су температура (C), влажност (%) и јачина ветра (m/s) и молекуларне структуре градивног материјала, која за узврат непосредно утиче на просторну организацију и структуру прототипског модела. Међутим, спроведени експеримент не тежи да произведе знање које се специфично односи на било који од наведених параметра, већ да помогне у развоју архитектонских стратегија, које се заснивају на повратној размени информација између пројектоване структуре и њеног окружења.

### **6.2.5 Опсервације и закључци начињени током пројектантске радионице „Недоследности в.05“, одржане у септембру 2012. године на кампусу Трсат, Грађевинског факултета Свеучилишта у Риједи**

Пета радионица, одржана на кампусу Трсат, Грађевинског факултета Свеучилишта у Риједи, организована је у циљу провере техничког решења, које је произведено током претходне радионице. Реализација просторних и прототипских модела изостаје због ограничености временом и техничким средствима који су на располагању учесницима радионице. Група закључака и запажања које везујемо за карактеристике градивног материјала је лимитирана сâмом поставком, која се заснива на примени рачунара. Међутим, у поређењу са претходним експериментима, запажамо да изостанак непосредног контакта са градивним материјалом у великој мери утиче на ток истраживања и да умањује могућност конструктивне и креативне примене интуиције учесника радионице.

Група закључака и запажања које везујемо за технику моделовања, односи се на испитивање примене и функционалности софтверске апликације, која је развијена током претходне, а затим и унапређена за потребе ове радионице. Путем опсервације односа учесника према представљеном софтверском алату, закључујемо да је сâма употреба апликације једноставна и да је формиран интерфејс адекватан за примену у архитектонском пројектовању.

Група закључака и запажања које везујемо за развој методолошких одредница, односи се на идентификацију значаја продукције наменског алата у процесу архитектонског пројектовања. Према постављеном очекивању видимо да употреба рачунарске симулације омогућава непосредну примену адаптивних принципа и продукцију прототипских модела, без значајног утршка времена и материјала. Испуњено је очекивање према коме примена рачунарске симулације омогућава брже и лакше структурирање итеративног процеса пројектовања.

### **6.3 Интерпретација добијених података**

Интерпретација добијених података врши се путем анализе и поређења претпоставки, које формулишемо током поставке истраживања кроз пројекат,

заједно са запажањима и сазнањима до којих се дошло током експерименталног дела истраживања, односно након реализације серије прототипских модела.

Услед итеративне структуре спроведеног истраживања кроз пројекат, која се заснива на изради серије прототипских модела током спровођења пројектантских радионица, бележимо стално преклапање чинова евалуације спроведеног и планирања наредног експеримената, односно цикличну смену између *ex ante* и *ex post* анализе. Запажања која су формирана на основу сваког реализованог модела стичемо коинцидентно са припремама за следећи прототипски модел у низу, услед чега наилазимо на тешкоће у остваривању апсолутне диференцијације између два сегмента истраживања кроз пројекат, које чине процес пројектовања и процес евалуације. Идентификација и испитивање успостављене везе, између формирања и провере претпоставки, продубљује поље деловања у архитектонском пројектовању, путем стварања оквира за примену итеративних и адаптивних принципа у концепцији просторних организација, структура и окружења.

### **6.3.1 Аналогни однос између еластичности материјала и адаптивности просторних организација**

У контексту превођења теоријских модела „Поља“ и „Мреже“ у пројектантске моделе, постављена је хипотеза да еластичност, као перформанса материјала, може бити аналогно повезана са адаптивним принципима у пројектовању сложених организација, структура и окружења. У односу на кључне одреднице просторних концепција, које описују Ален (1997) и Вигли (2001), претпостављено је да еластично понашање материјала: може допринети успостављању диверзитета и међусобне повезаности унутар структуре модела; може бити важан фактор у омогућавању сталног раста просторних структура, и може бити посматрано као механизам за системску саморегулацију просторних структура. Током низа спроводних радионица, еластичност материјала је повезана са својством променљивости модела, која је проузрокована неким физичким утицајем или његовим растом, односно континуалним придруживањем нових компоненти. Путем реализације прототипских модела, потврђена је погодност примене еластомера као градивног материјала у моделовању сложених,

реактивних и диференцираних структура. Еластичност је прихваћена као инхерентна карактеристика, која је са структуре градивног материјала пренета на организационе и конструктивне потенцијале читавог модела.

Током прве радионице, експлоатација карактеристика материјала је првенствено интуитивна. Међутим, у радионицама које следе, разумевање улоге материјала постаје прецизније и рационалније. Ослањање на интуицију, уз физичке технике моделовања и непосредан рад са градивним материјалом, у великој мери је омогућило идентификацију пројектантских проблема. Међутим, способност инструментализације перформанси материјала, током процеса концепције и реализације модела, ослања се на развој пројектантских алата, који омогућавају неопходну доследност у истраживању. Секвенца развоја кроз свих пет радионица се може интерпретирати као покушај разјашњавања интуитивног приступа у моделовању комплексних структура од еластомера. Током истраживања кроз пројекат, развијени су алати, технике и методолошки принципи који омогућавају одвијање когнитивно комплексних процеса у архитектонском пројектовању. Концепција истраживања кроз пројекат се развија, од једноставног интересовања за еластично својство материјала ка способности симулирања, предвиђања и примене перформанси материјала, у току архитектонског пројектовања. У оквиру истраживања кроз пројекат, природа градивног материјала није посматрана као извор рестрикција, већ могућности које могу бити експлоатисане у процесу концепције и реализације архитектонских пројеката. Еластичност је примењена као саморегулативни механизам, који омогућава континуално прилагођавање унутар просторних организација, структура и окружења током њиховог раста или дејства спољашњих утицаја.

У оквиру поставке истраживања кроз пројекат, указано је на то да је молекуларна структура еластомера ближа структури гасова и флуида него чврстих тела. С друге стране, одмах на самом почетку спровођења експеримената, идентификован је недостатак крутости градивног материјала, као један од основних проблема у реализацији статички стабилних структура од еластомера. Управо зато, ток истраживања документује продукцију архитектонских модела, који задржавају организационе карактеристике гасовитих и флуидних стања, али истовремено поседују конструктивне одлике чврстих стања материје. Током реализације серије прототипских модела, запажамо да утицај молекуларне грађе

еластомера на конструктивне и организационе карактеристике модела превазилази утицај геометријски детерминисане логике. Разумевање принципа еластичности, у виду промене на нивоу молекуларне структуре материјала, постаје релевантно у оквирима ширег значења на нивоу архитектонских стратегија за пројектовање просторних организација, структура и окружења, које су иницијално идентификоване током поставке истраживања кроз пројекат.

### **6.3.2 Успостављање просторних организација путем иницијалних и емергентних правила**

Интерпретацијом теоријских модела „Поља“ и „Мреже“, идентификован је проблем континуалног раста у остваривању сложених просторних структура. У циљу истраживања могућности успостављања пројектантске контроле над растом структуре, примењени су аналогни, перформативни и прототипски видови моделовања, према принципима о којима је дискутовано у првом делу ове дисертације. На основу реализованих модела, закључујемо да је приступ који се заснива на системски утврђеним правилима, потврђен као ефикасан начин симулирања проблема просторног раста. Видимо да се већина произведених модела успешно заснива на примени алгоритамски структурираног оквира за раст структуре, али да пресудан утицај на успостављене уређења и укупне форме имају карактеристике материјала.

У оквиру поставке истраживања кроз пројекат, предвиђена је примена технике моделовања, која је заснована на обједињавању великог броја индивидуалних компоненти од еластомера у једну хомогену структуру према два једнако важна принципа. Током реализације модела, први сет принципа је интерпретиран као низ „доследности“ које обухватају примену геометријски заснованих и систематски примењених правила у виду алгоритма, односно серије корака или ступњева раста. Други сет принципа је прихваћен као низ „недоследности“, које су засноване на специфичним перформансама материјала који је одређен за конструкцију модела. Еластомер, материјал који је управо због своје специфичне хемијске структуре намењен овом експерименту, омогућава физичку трансформацију сваке компоненте. У оквиру поставке истраживања, предвиђено је да се првобитно идентични елементи, током раста модела, могу

трансформисати у међусобно различите елементе. Однос између иницијално дефинисаних правила или „доследности“ у моделовању и емергентних правила или „недоследности“, које се успостављају током раста модела, константо је померан у низу спроведених експеримената.

Сви модели су реализовани на основу експлицитног сета инструкција, без посредства архитектонских планова. С једне стране, овакав протокол је омогућио синхронизовану партиципацију великог броја учесника у процесу моделовања, а с друге је створио услове за експлоатацију непредвидивих сценарија раста просторних конфигурација. Током серије спроведених радионица, установљено је да управо разумевање односа између иницијалних и емергентних правила има пресудан утицај на укупну структуру модела. Потреба за разумевањем и експлицитним укључивањем карактеристика материјала у процес концепције и реализације модела, резултирала је продукцијом наменског алата, који је у виду техничког решења данас доступан у оквиру Рајносерос софтверске платформе, намењене за просторно моделовање.

С друге стране, остварено је боље разумевање проблема моделовања структура, које сачињава велики број различитих елемената. Направљен је помак у пројектовању сложених просторних структура и организација, кроз регулацију односа међу њиховим компонентама. Запажамо да међусобна повезаност компоненти и настанак великог броја локално различитих стања, чине кључне карактеристике произведених модела, управо како је сугерисано у оквиру теоријског модела „Поља“ (Allen, 1997). Истовремено, препознајемо да структуре реализованих модела нису јасно диференциране и да се њихова просторна форма прилагођава условима које намеће окружење. Увиђамо да реализовани модели одражавају просторне организације које немају јасно дефинисану границу између ентеријера и екстеријера, управо како је идентификовано у оквиру теоријског модела „Мрежа“ (Wigley, 2001). Препознајемо да настали прототипски модели указују на могућност успостављања просторних организација са одликама отворених система, који су у сталној интеракцији са својим окружењем.

### 6.3.3 Адаптивни принципи и способност саморегулације просторних организација

У оквиру поставке истраживања кроз пројекат изнесена је претпоставка према којој итеративна структура процеса архитектонског пројектовања почива на изради прототипских модела, чија је основна намена стицање сазнања која се потом користе за реализацију следеће итерације. На овај начин, уместо једног и финалног решења за одређени проблем, резултат пројектовања можемо сагледати као процес адаптације са видљивом структуром која омогућава континуални развој модела. Путем реализације серије прототипских модела, истражена је могућност приближавања истраживачки прихваћеног приступа, који се темељи на примени прототипа, и методологије архитектонског пројектовања.

Током прве радионице запажено је да услед ослањања на еластично понашање материјала, моделовање обухвата процесе који су динамични и које карактеришу промене пројектоване структуре. Запажена је улога карактеристика градивног материјала у остваривању адаптивног потенцијала просторних структура. Заједничка карактеристика већине модела који су реализовани током истраживања, чини способност реаговања на утицаје из окружења, односно капацитет промене сопствене геометријске конфигурације под утицајем неке спољашње силе и повратка у првобитно стање након престанка дејства тог утицаја. Закључујемо да је капацитет адаптације једна од суштинских одлика већине реализованих модела, као и да се методолошки принципи, које примењујемо за концепцију и реализацију сложених просторних организација, ослањају на могућност пројектовања путем континулане серије итерација модела. Значајно је напоменути да такве итерације нису само производ традиционалног процеса архитектонског пројектовања, који се заснива на пробама и исправкама, већ да настају као последица много сложенијег и системски оријентисаног процеса прилагођавања, у коме унутрашња организација модела садржи способност измене и реконфигурације према променама које могу бити инициране интерно, унутар саме структуре, или екстерно, услед промена у окружењу. Промене и утицаји о којима овде говоримо, могу бити идентификоване на веома различите начине и могу бити повезане са различитим пројектантским стратегијама. Међутим, предмет истраживања, у оквиру ове студије, обухвата разјашњење самог механизма, који може бити примењен у оквиру решавања



различитих архитектонских задатака. Већина модела од еластомера, реализованих током истраживања кроз пројекат, демонстрира способност саморегулације, односно прилагођавања сопствене физичке структуре променама које настају услед придруживања нових елемената, утицаја механичких сила, попут јачине ветра или утицаја атмосферских прилика, попут осцилација у интензитету температуре.

#### **6.4 Евалуација испуњености постављених циљева и задатака истраживања**

Евалуација остварених резултата се врши кроз процену испуњености постављених циљева и задатака истраживања, који су дефинисани у уводном делу дисертације и међу којима централно место заузима допринос у методологији архитектонског пројектовања кроз продубљивање разумевања улоге адаптивних принципа у процесу концепције и реализације просторних организација, структура и окружења. Секундарни циљ ове дисертације се ближе везује за истраживање кроз пројекат и односи се на развијање технике моделовања сложених просторних организација, структура и окружења које се састоје од великог броја различитих елемената, који су у сталном расту, који поседују капацитет саморегулације и који поседују способност адаптације или промене сопствене форме према наметнутим утицајима из окружења. Из наведених циљева произилази листа задатака чију процену испуњености приказујемо у следећим поглављима.

##### **6.4.1 Итеративна структура процеса архитектонског пројектовања**

Систематизација знања о итеративној структури процеса архитектонског пројектовања започета је у виду дискусије, која је забележена у првом, теоријском делу дисертације. Претпостављено је да се реализација итеративне структуре процеса архитектонског пројектовања може засновати на примени аналогних, перформативних и прототипских видова моделовања. Формулисано је очекивање према коме итеративна структура процеса архитектонског пројектовања проширује поље деловања, путем омогућавања непосредније интеграције

повратних информација у токове концепције простора. Претпостављено је да примена итерације у процесу архитектонског пројектовања захтева разјашњење улоге адаптивних принципа у процесу концепције и реализације просторних организација, структура и окружења. Провера хипотетичких претпоставки и проширивање знања о итеративној структури процеса архитектонског пројектовања извршена је истраживањем кроз пројекат. Путем реализације низа просторних модела, софтверског решења за симулацију формативног утицаја својства материјала и серије прототипских модела, потврђене су постављене претпоставке. Закључено је да итеративна структура процеса пројектовања захтева развој наменских техника моделовања, које се према потврђеном очекивању заснивају на примени аналогног, перформативног и прототипског модела.

#### **6.4.2 Улога аналогног модела**

Идентификација и истраживање улоге аналогног модела у развоју адаптивних принципа у архитектонском пројектовању, забележена је у оквиру дискусије у првом, теоријском делу дисертације. Претпостављено је да просторни модел може имати улогу одређеног механизма током процеса архитектонског пројектовања, која превазилази описне сврхе, има аналитички значај и формативни утицај на крајњи исход процеса пројектовања. У оквиру прегледа релевантних стратегија моделовања, идентификован је приступ који тежи да омогући концепцију просторних форми према принципима самоорганизације материје и према процесима који одликују биолошке системе и природне структуре. Указано је на технику моделовања путем „аутономних процеса формације“, коју је развијао Фреј Ото у циљу пројектовања просторних конструкција, и постављено је очекивање према коме просторни модел може имати специфичну улогу у архитектонском пројектовању, која омогућава структуру процеса пројектовања у виду биолошке адаптације, односно у омогућавању континулане и артикулисане промене архитектонске форме током процеса архитектонског пројектовања. Претпостављено је да предност просторних или физичких модела, у односу на рачунарске или дигиталне моделе, лежи у омогућавању непосредног рада са градивним материјалом и примени

једноставних техника за потребе експерименталног рада у архитектури. Улога просторног модела у развоју адаптивних принципа и итеративне структуре процеса архитектонског пројектовања је идентификована кроз могућност укључивања карактеристика градивног материјала и утицаја природних закона у процес концепције сложених просторних организација, структура и окружења. Аналогни, механички и темпорални аспекти архитектонског модела идентификовани су као окоснице развоја технике моделовања, која омогућава примену адаптивних принципа у процесу архитектонског пројектовања. Провера хипотетичких претпоставки и проширивање знања о улози аналогног модела у процесу пројектовања извршена је истраживањем кроз пројекат. Наведене претпоставке су размотрене путем реализације низа просторних модела. Остварено је дубље разумевање улоге својства еластичности материјала у концепцији и реализацији просторних организација, структура и окружења. На основу запажања начињених током продукције просторних модела, створена је концепција за реализацију софтверског решења за симулацију утицаја перформанси материјала током концепције и конструкције модела.

#### **6.4.3 Улога перформативног модела**

Појашњене улоге перформативног модела и симулације у развоју адаптивних принципа у архитектонском пројектовању извршена је у оквиру дискусије у првом, теоријском делу дисертације и настављена је истраживањем кроз пројекат, путем реализације низа дигиталних модела и софтверског решења. Изнесене претпоставке се односе на улогу рачунарске симулације у прецизнијем сагледавању перформанси материјала током процеса моделовања и непосреднију примену знања из области грађевинске физике у токовима концепције и реализације просторних организација, структура и окружења. Идентификовани проблем истраживања се везује за развој пројектантских алата, који се заснивају на оперативној примени перформативних потенцијала материје и њене иманентне способности да произведе просторне организације, структуре и окружења. На основу дискусије, претпостављено је да примена перформативног моделовања омогућава непосреднији и ефикаснији начин за укључивање повратних информација у сâм ток архитектонског пројектовања. Изнесено је становиште

према коме се карактер процеса архитектонског пројектовања приближава карактеру научног експеримента, путем примене рачунарски заснованог модела или симулације. Провера хипотетичких претпоставки и проширивање знања о улози перформативног модела, извршена је путем истраживања кроз пројекат. Потврђено је да примена рачунарски засноване симулације омогућава једноставну и брзу примену адаптивних принципа у процесу архитектонског пројектовања и да је овим путем остварена могућност испитивања знатно већег броја сценарија за раст структуре током процеса моделовања. Установљено је да примена алгоритамске логике путем наменског програмирања у процесу архитектонског пројектовања, омогућава сагледавање већег опсега информација, које укључују перформансе материјала и променљиве утицаје из окружења. Као резултат, у произведеним моделима видимо успостављање сложених просторних организација, које нису засноване на геометријском уређењу.

#### **6.4.4 Улога прототипског модела**

Утврђивање улоге прототипског модела у концепцији и реализацији архитектонског пројекта извршена је путем дискусије у првом, теоријском делу дисертације и настављена је истраживањем кроз пројекат. Претпостављено је да јединственост прототипских модела у пуној размери, у поређењу са другим архитектонским алатима као што су цртеж, макета и дијаграм, лежи управо у непосредном укључивању аспеката реализације пројекта у сâм процес концепције архитектонске форме. Претпостављено је да примена прототипског модела омогућава превазилажење традиционално прихваћене поделе на процес концепције и процес реализације архитектонског дела. Такође је претпостављено да итеративна структура процеса пројектовања почива на изради прототипских модела, чија је основна и једина намена стицање сазнања, која се потом користе за реализацију следеће итерације. Потврда хипотетичких претпоставки и проширивање знања у примени прототипског модела у концепцији и реализацији архитектонског пројекта извршена је путем израде серије прототипа од еластомера. Према постављеном очекивању, конструкција прототипских модела се испоставља као захтеван грађевински подухват, чије карактеристике одговарају сложеностима изградње објеката. Укључивање оваквих проблема у сâм ток

концепције просторних организација, структура и окружења, омогућило је развој пројектантских идеја према материјално заснованим параметрима. С друге стране, разумевање прототипске улоге архитектонских модела допринело је континуалном развоју теоријских модела „Поља“ и „Мреже“, путем успостављања итеративне структуре процеса пројектовања и континуалног сагледавања низа промена сâмих модела.

#### **6.4.5 Приближавање физичких и дигиталних техника моделовања**

Испитивање могућности за приближавање просторних или физичких и рачунарских или дигиталних техника моделовања извршено је истраживањем кроз пројекат. Путем реализације серије прототипских модела илустрован је значај приближавања физичких и дигиталних техника моделовања. Потврђено је да просторне технике моделовања и рачунарски засноване технике имају различите, али комплементарне улоге у процесу архитектонског пројектовања. Непосредан контакт са градивним материјалом омогућава једноставно извођење тестова и доприноси конструктивној примени интуиције у решавању проблема. С друге стране, потврђено је да примена рачунарске симулације омогућава испитивање знатно већег броја сценарија за раст структуре. Реализована серија прототипских модела се заснива на синхронизованој примени просторних и рачунарских техника моделовања. У иницијалном делу истраживања постигнута је имплементација алгоритамске логике моделовања у процесу физичког моделовања, што у каснијем току истраживања омогућава лакше прелажење са физичког на рачунарско моделовање. Такође, сазнања о еластичном понашању материјала, до којих долазимо током процеса физичког моделовања, налазе примену у реализацији техничког решења у виду софтверске екстензије. Потврда валидности софтверског решења извршена је путем упоредне анализе резултата постигнутих путем физичког моделовања, и резултата остварених применом рачунарски засноване технике моделовања.

#### **6.4.5 Теоријски модели за испитивање адаптивних принципа у архитектонском пројектовању**

Идентификација и разјашњење релевантних теоријских модела за испитивање адаптивних принципа у архитектонском пројектовању путем примене просторних модела, рачунарске симулације и реализације серије прототипских модела извршена је током иницијалног дела истраживања кроз пројекат. Два теоријска модела, дефинисана у увиду просторних стања „Поља“ (Allen, 1997) и „Мреже“ (Wigley, 2001) идентификована су као полазишта за материјално засновано испитивање могућности концепције и реализације сложених и променљивих просторних организација, структура и окружења путем примене адаптивних принципа у процесу архитектонског пројектовања. Оба теоријска модела се заснивају на одступању од традиционално прихваћеног уређења простора, које се темељи на геометријским принципима. Уређеност „Поља“ и „Мреже“ почива на формирању односа између конститутивних елемента и поседује потенцијал континуалног раста и прилагођавања сопствене структуре. Важна заједничка карактеристика ових становишта је супротстављање принципима просторних организација које су засноване на централном и хијерархијском уређењу. Веза између два теоријска модела успостављена је путем аналогije између тачака и линија које формирају матрицу поља, са чворовима или гранама (*nodes and edges*) или теменима и везама (*vertices and connections*) које формирају просторне мреже.

#### **6.4.6 Повезивање адаптивних принципа у архитектонском пројектовању са еластичним својством материјала**

Испитивање могућности повезивања адаптивних принципа у архитектонском пројектовању са еластичним својством материјала извршено је путем истраживања кроз пројекат. Изнесена је претпоставка о успостављању аналогног односа између адаптивности просторних организација еластичног својства грађевинских материјала. Путем истраживања кроз пројекат, утврђен је утицај променљиве молекуларне структуре материјала на артикулисане и континулане промене архитектонске форме током процеса моделовања. Материјално засновано испитивање примене адаптивних принципа, условило је

развој наменских алата, техника и методолошких принципа који омогућавају симулацију и примену еластичног понашања материјала током процеса архитектонског пројектовања. Установљено је да принцип еластичности, у виду промене на нивоу молекуларне структуре материјала, постаје релевантан у оквирима ширег значења на нивоу архитектонских стратегија за пројектовање просторних организација, структура и окружења које су иницијално идентификоване у теоријским моделима „Поља“ и „Мреже“ током поставке истраживања кроз пројекат.

#### **6.4.7 Непосредно укључивање перформанси градивног материјала**

Испитивање технике архитектонског моделовања, која омогућава непосредно укључивање перформанси градивног материјала, извршено је истраживањем кроз пројекат. На основу реализације серије прототипских модела, утврђено је да у току моделовања карактеристике градивног материјала могу имати непосредан формативни утицај на просторне организације, структуре и окружења. Током истраживања кроз пројекат, утврђено је да утицај молекуларне грађе еластомера, превазилази утицај геометријске логике на конструктивне и организационе карактеристике модела. Принцип еластичности је успостављен као механизам за регулацију, на основу кога настаје мноштво локалних стања у виду унутрашње диференцијације просторних организација, структура и окружења, као што је идентификовано у теоријским моделима „Поља“ и „Мреже“, током поставке истраживања кроз пројекат.

#### **6.4.8 Усаглашеност између геометријске конфигурације модела, перформанси материјала и утицаја из окружења**

Истраживање технике моделовања која се заснива на усаглашености између геометријске конфигурације, перформанси материјала и утицаја из окружења, извршено је истраживањем кроз пројекат. Постављени циљ истраживања адаптивних принципа у архитектонском пројектовању се огледа у омогућавању проширивања поља деловања, путем укључивања ширег опсега података, као и непосреднијој интеграцији повратних информација у токове

концепције и реализације просторних организација, структура и окружења. Путем истраживања кроз пројекат, приказано је да карактеристике градивног материјала и утицаји из окружења, који су изражени кроз егзактне нумеричке вредности као што је ветар (m/s) или температура (C), могу бити доведени у везу са геометријском конфигурацијом и да могу непосредно утицати на конструктивне и организационе карактеристике модела. Потврђена је могућност примене аналогних, перформативних и прототипских видова моделовања, који омогућавају разумевање когнитивно захтевних процеса у архитектонском пројектовању.

#### **6.4.9 Итеративна секвенца пројектантских радионица**

Утврђивање методолошких оквира ради спровођења секвенце пројектантских радионица извршено је истраживањем кроз пројекат. Путем реализације серије прототипских модела, током пројектантских радионица на којим је учествовало приближно осамдесет студената архитектуре у периоду од две године, приказана је могућност реализације итеративне структуре процеса пројектовања. Сазнања која су стечена током сваке радионице и реализације сваког прототипског модела успешно су пренесена на следећу радионицу у низу. Приказани континуитет у развоју технике моделовања и пројектантских алата, током истраживања кроз пројекат, остварен је на основу итеративне структуре процеса истраживања.

#### **6.4.10 Улога адаптивних принципа у процесу пројектовања**

Утврђивање улоге адаптивних принципа у процесу пројектовања извршено је путем дискусије у првом, теоријском делу дисертације и настављено је истраживањем кроз пројекат. Претпостављено је да улога адаптивних принципа омогућава проширивање поља деловања у архитектонском пројектовању, путем остваривања методолошких оквира за артикулисану и континуалну промену форме током процеса пројектовања. Истовремено, очекивано је да примена адаптивних принципа у архитектонском моделовању омогући бољу интеграцију временске компоненте у токове концепције и конструкције просторних организација, структура и окружења. Потврда хипотетичких претпоставки и



проширивање знања о улози адаптивних принципа у процесу пројектовања извршена је путем реализације серије прототипских модела. Приказан је развојни процес алата и техника моделовања, које се заснивају на примени адаптивних принципа у архитектонском пројектовању. Током истраживања кроз пројекат, техника моделовања напредује од интуитивно заснованог приступа до егзактне и параметарски засноване манипулације карактеристикама материјала ради омогућавања промена просторних организација. Приступ који је примењен током ове студије, као и већина других пројектантских стратегија, заснива се на развоју иницијалног архитектонског концепта путем низа проба и корекција. Међутим, испитани приступ тежи да системски обухвати такве промене и корекције, и успостави могућност за пројектовање просторних окружења путем сагледавања промена у оквиру одређеног временског периода. Заснива се на принципима саморегулације и самоорганизације материјалних система, на основу којих је организација пројектоване структуре конципирана тако да поседује способност измене и реконфигурације према променама, које могу бити инициране интерно, унутар саме структуре, или екстерно, услед промена у окружењу. Промене и утицаји, о којима овде говоримо, могу бити размотрене на веома различите начине и могу бити повезани са различитим пројектантским стратегијама. Међутим, предмет истраживања, у оквиру ове студије, обухвата разјашњење самог механизма, који може бити примењен у оквиру решавања различитих архитектонских задатака. Путем реализације прототипских модела, приказан је развој методолошких одредница у оквирима матичне дисциплине архитектонског пројектовања, у чему се огледа остварени научни допринос ове дисертације.

## 6.5 Закључак

У оквиру ове главе извршена је синтеза спроведеног истраживања путем систематизације, анализе, интерпретације и евалуације прикупљених податка. Разјашњење улоге адаптивних принципа у концепцији и реализацији сложених просторних организација, структура и окружења извршено је путем реализације прототипских модела који поседују способност адаптације или континулане промене сопствене форме према утицајима из њиховог окружења. Место адаптивних принципа у архитектонском пројектовању је идентификовано у односу на потребу пројектовања просторних организација које поседују капацитет

самоорганизације. Улога адаптивних принципа приказана је кроз развој знања и вештине моделовања просторних организација које су у сталном расту. Разјашњење улоге адаптивних принципа у концепцији и реализацији сложених просторних организација, структура и окружења извршено је путем реализације прототипских модела чије се структуре састоје од великог броја различитих елемената, који су међусобно усклађени и повезани у једну целину.

Разумевање еластичности, у виду промене на нивоу молекуларне структуре материјала, интерпретирано је у оквирима ширег значења на нивоу архитектонских стратегија за пројектовање просторних организација, структура и окружења које су иницијално идентификоване у идејама „Поља“ (Allen, 1997) и „Мреже“ (Wigley, 2001) током поставке истраживања кроз пројекат. Еластичност је прихваћена као саморегулативни механизам, који омогућава континуално прилагођавање унутар просторних организација, структура и окружења током њиховог раста или дејства спољашњих утицаја.

## ЗАКЉУЧЦИ И ПРЕПОРУКЕ

## Шта је адаптивна архитектура?

У оквиру иницијалне анализе информација о предмету истраживања, указано је да се, у архитектонској теорији и пракси, појам адаптације простора јавља шездесетих година прошлог века. У овом периоду, низ истраживача и пројектаната, на различите начине, у свом раду покреће питање адаптивности простора. Указано је да се холандски структурализам заснива на принципима поливалентности; пројекти групе Архиграм (Archigram) - на принципима прилагођавања; рад Седрика Прајса (Cedric Price) - на принципима реактивности; деловање Јоне Фридман (Yona Friedman) - на принципа мобилности, и рад јапанских метаболиста - на принципима раста. У данашњој архитектонској теорији и пракси запажамо обновљено интересовање управо за појмове поливалентности, прилагођавања, реактивности, мобилности и сталног раста изграђеног окружења, које доводимо у непосредну везу са проблемом адаптивности простора. Један од покушаја артикулације оваквих тенденција, како је то сажео Шнаделбах (Schnadelbach, 2011), јесте формулација концептуалног оквира под називом „Адаптивна архитектура“ (*Adaptive Architecture*), који обухвата наведене појмове и односи се на пројектовање и изградњу просторних окружења, која поседују способност физичке промене, и то према:

- Потребама корисника,
- климатским утицајима из окружења,
- предметима који се налазе у њима.

Шнаделбах указује на то да се свако просторно окружење може променити и прилагодити према наведеним утицајима, али истиче да термин „адаптивна архитектура“ обухвата она окружења која су наменски конципирана и пројектована, тако да се могу трансформисати током времена. Технолошки напредак у грађевинској индустрији, развој дигитално заснованих машина за производњу, заједно са развојем знања о молекуларној структури материјала и њиховим својствима, данас омогућава ревидирано сагледавање проблема променљивости изграђеног окружења. Промене могу бити изазване и реализоване човеком интервенцијом или аутоматски, путем примене различитих облика сензора, контролера и актуатора, који данас омогућавају реализацију идеја које су шездесетих година прошлог века биле знатно теже оствариве. Тешко је оспорити

бенефиције које се јављају услед планиране променљивости изграђеног окружења. Могућност адаптације читавих или само одређених сегмената грађевина, садржи потенцијал за остваривање боље функционалности простора и ефикасније употребе енергије. Уколико утврдимо да овакве бенефиције превазилазе потребне инвестиције, адаптивност изграђеног окружења можемо прихватити као есенцијалну компоненту сваке стратегије одрживог развоја. Управо зато је и овај научни рад усредсређен на разјашњење улоге адаптивних принципа у архитектонском пројектовању. Међутим, то чини са становишта које претходи увођењу и примени нових технологија у архитектури, заправо - односи се на утврђивање пројектантских стратегија и алата, које истовремено омогућавају и захтевају апликацију иновативних техничких решења. Ова студија истражује улогу појма адаптивности, која се првенствено односи на концепцију сложених просторних организација, структура и окружења, а која имплицира променљивост током процеса архитектонског пројектовања пре него променљивост реализованих архитектонских пројеката. Постављена је хипотеза да примена адаптивних принципа проширује поље архитектонског пројектовања увођењем итеративне структуре процеса пројектовања, која се заснива на примени аналогних, перформативних и прототипских модела као основних медија у том процесу. У оквиру првог дела дисертације, који има теоријски карактер, испитана су и организована сазнања о новим видовима моделовања у архитектури. Идентификоване су улоге аналогног, перформативног и прототипског вида моделовања, који истовремено подржавају и условљавају развој адаптивних принципа и примену итеративне структуре процеса архитектонског пројектовања. Претпостављено је да овакви видови моделовања омогућавају процес архитектонског пројектовања, који се заснива на континуалним изменама модела према информацијама које генеришу корисници и окружење. У другом делу дисертације, на основу стечених сазнања и формираних претпоставки, извршена је провера постављене хипотезе путем истраживања кроз пројекат и израду серије прототипских модела, намењених тестирању методолошких одредница и постављене тезе.

## Нове урбане формације и тајни живот архитектуре

Разматрање адаптивних принципа током процеса пројектовања, у оквирима ове студије, не искључује променљивост изграђеног окружења, али није неопходно условљено применом грађевинских решења која омогућавају трансформацију простора. Као полазиште истраживања кроз пројекат постављена су два теоријска модела, која на различите, али повезане начине сугеришу успостављање организационих матрица које се не заснивају на геометријским принципима и централним уређењима, већ на међусобним односима њихових конститутивних елемента. Разјашњења теоријских модела „Поља“ (Allen, 1997) и „Мреже“ (Wigley, 2001) дата су у оквиру поставке истраживања кроз пројекат, а затим су повезана у један заједнички проблем истраживања, који гласи: Како пројектовати, тако сложене и променљиве просторне организације, структуре и окружења? Формирана је претпоставка да управо адаптивни принципи омогућавају примену пројектантских алата, који су неопходни да би архитекта могао да сагледа и примени овакве идеје.

У разговору са Марком Виглијем, који је одржан 27. октобра 2012. године у Београду, покренуо сам питање улоге теоријског модела, који је он предложио десетак година раније. Моје питање било је једноставно и односило се на однос између зграда, улица, тргова и свега што већина нас данас подразумева под архитектуром и онога што он подразумева под термином мрежа. Вигли је потврдио да за њега структура „Мреже“ представља један могући начин разумевања изграђених окружења и то је сликовито описао следећим речима: „Град није ниша друго до Мрежа. Када кажемо Мрежа, ми не мислимо, на пример, на свет после Другог светског рата. Ми мислимо управо на повезаност. На растојању од сто метара у граду, могу да сретнем педесет људи и чујем шест језика, и тада ми може бити понуђено двадесет различитих могућности. Градови подржавају повезаност. Градови расту експлозивно, управо због те чињенице. Сви траже више повезаности. И супротно је такође тачно, системи повезаности су урбани системи. Ако ме питате где је архитектура данас, морате да погледате мреже комуникација, које чине нове урбане формације. Сви знају да живимо у некој врсти дигиталног урбанизма, која није довољно анализирана. Једна ствар која је сигурна, јесте да су се градови, чак и на свом зачетку, када смо имали комбинацију утврђења и пијаци, састојали од педесет различитих мрежа, педесет

различитих форми комуникација и педесет различитих структура. И када би наставили да развијамо овај исти аргумент, он би се увек односио на питање структуре. Највише ме фасцинирају писци из шездесетих година прошлог века, као што су Маршал Меклуан (Marshall McLuhan) и Бакминстер Фулер (Buckminster Fuller), који нису правили разлику између мрежа комуникације, социјалних мрежа и концепције структура. Фулер је постао моја стална опсесија, јер његова архитектура, јесте слика мреже. Знамо да класична архитектура, у теорији, производи слику света, без узора. Ово је кључна улога архитекте, јер архитекта размишља о простору и стварима, које очигледно нису реалне. Нико не воли архитекте. Ви запослите архитекту јер треба да уради нешто што ви једноставно не разумете. Архитекта је експерт за синтезу вишеструких облика информација. Нико не позива славног архитекту да пројектује библиотеку у његовом граду, зато што мисли да ће нова библиотека све орасположити, чак и када тако говори. У стварности, само је архитекта способан да повеже све врсте знања која су неопходна да би настала успешна библиотека. Када би грађевински инжењер то могао да уради, онда би то било дато њему. Архитекте размишљају о незамисливим просторима. Управо зато, тајни живот архитектуре чини окружење, које је отворена платформа (*open source*). Ми смо научени да апсорбујемо различите и некомпатибилне форме информација. Архитекта размишља тамо где се мисли да размишљање није могуће. Зграда настаје управо тамо где се мисао завршава. У том контексту, архитектура почиње тамо где где престаје размишљање. Данас смо затечени, јер још увек нисмо способни да опишемо структуру простора који окупирамо“ (Wigley, 2012). Једно од могућих тумачења „затечености“ саме дисциплине, и способности описивања и изучавања сложених просторних структура, о чему говори Вигли, јесте потреба за развојем нових видова архитектонског моделовања, који проширују поље деловања у архитектонском пројектовању. У оквиру овог научног рада, испитане су улоге аналогног, перформативног и прототипског вида моделовања, који истовремено подржавају и условљавају развој адаптивних принципа. Путем реализације серије прототипских модела, извршена је провера постављене хипотезе.

## Прототип

Прототипско моделовање, у контексту овог научног рада, има двоструко значење. Прво се односи на продукцију итеративне серије модела, што подразумева примену адаптивних принципа путем омогућавања континулане промене модела током процеса пројектовања. Друго значење обухвата улогу прототипског модела, која се односи на приближавање карактера модела и реализованог архитектонског пројекта. Специфичност прототипских модела, у поређењу са другим архитектонским алатима као што су цртеж, макета и дијаграм, лежи управо у непосредном укључивању аспеката производње и градње у сâм процес пројектовања, што омогућава испитивање односа између концепције и реализације архитектонског пројекта и преиспитивање традиционално успостављене поделе између ове две фазе. Продукцију прототипских модела везујемо за појаву специфичног деловања у истраживачки оријентисаној пракси архитектонског пројектовања. Карактер оваквих истраживања је првенствено аналитички, везан је за морфолошка истраживања, продубљивање знања о техникама пројектовања и градње, као и за развој нових, данас првенствено рачунарски заснованих технологија. Међутим, њихова природа такође поседује сличности са истраживањима, која су утемељена у области визуелних уметности и према неписаном правилу се баве питањима која ће тек постати релевантна у архитектури.

Истраживање кроз пројект, и оквиру ове студије, покренуто је на основу анализе радова три уметнице: Гертруде Голдшмит Гего (Gertrud Goldschmidt Gego), Еве Хесе (Eva Hesse) и Мире Шендел (Mira Schendel), које се седамдесетих година двадесетог века баве просторним инсталацијама, тада новим уметничким изразом, који омогућава непосреднији однос између сâмог дела, посматрача, окружења и процеса стварања. Мете Рамсгард Томсен (Mette Rmasgard Thomsen, 2012) из Центра за рачунарске технологије и архитектуру (*Centre for Information Technologies and Architecture*) у Копенхагену, један је од бројних истраживача који данас указују на могућност примене оваквог приступа у архитектури, као начина за испитивање материјалних карактеристика, али и на могућност непосредног поимања различитих аспеката просторних окружења. У претходном току истраживања, указано је на експерименталне пројекте француског архитекта Марка Форнеса (Marc Frones), који истражује проблеме конструкције двоструко



закривљених површи и америчког истраживача Ендруја Кадлеса (Andrew Kudless), који испитује могућности флексибилних система оплате. За овакве моделе је карактеристично одсуство размере, односно реализација модела у пуној размери проблема или предмета изучавања.

Указано је да реализација модела у пуној размери није новина у архитектури. Идентификована је улога лабораторија за моделовање у пуној размери, које се јављају на архитектонским школама широм Европе током седамдесетих година прошлог века. На још ранију примену прототипских модела указује Брет Стил (Brett Steele, 2008) у предговору књиге „Производња материјалних ефеката: преиспитивање пројектовања и реализације у архитектури“ (*Manufacturing Material Effects: Rethinking Design and Making in Architecture*, Kolarević and Klinger, 2008). Он нас подсећа да је управо продукција прототипских модела омогућила настанак модерне архитектуре. Дугачка листа примера, које Стил наводи, садржи Мисов (Mies van der Rohe) модел од челика и стакла у пуној размери, за пословни објекат Фридрихштрасе (Friedrichstrasse) у Берлину, из 1921. године, као и Прувеове (Jean Prouve) наменске алате за продукцију префабрикованих конструкција од алуминијума, који настају током тридесетих година деветнаестог века. Према његовим речима, аргумент који видимо у књизи Коларевића и Клингера, јесте да продукција прототипских модела у архитектури, као специфичан вид истраживања у архитектонском пројектовању, данас још увек успева да, након периода израженог интересовања за дигиталне капацитете, поново преусмери пажњу на питање материјалности.

### **Чврсто и меко**

Један од доминантних праваца истраживања у савременој архитектонској теорији и пракси, у контексту питања материјалности и материјалних ефеката, јесте развој примене меких, уместо чврстих грађевинских материјала, које традиционално поистовећујемо са сâмом природом грађевинске индустрије. Можемо да кажемо да овакве идеје почињу да се развијају путем експеримената са лаким просторним конструкцијама, током шездесетих година прошлог века или много, много раније, када су текстилни материјали почели да проналазе примену у градњи примордијалних заклона. Вероватно најдопадљивија формулација

проблема апликације меких материјала у архитектури, гласи: Како бисте волели да живите у меком простору? (*How would you like to live in the soft space?* Thomsen, 2012) и односи се не серију експеримената који се заснивају на примени савитљивих и еластичних материјала.

Савремена истраживања у области примене материјала са способношћу промене сопствене структуре, крећу се у правцу свеобухватније реализације архитектонских стратегија према адаптивним принципима. Примена меких и еластичних материјала за конструкцију реактивних окружења, уместо крутих материјала, омогућава физичку трансформацију простора. Потенцијал који нуде овакви материјали односи се на парадигматску промену у архитектури која се преусмерава са „са технолошког на биолошки приступ... и која се заснива на самим карактеристикама материјала уместо на технологији механистичких система“ (Кoo, Вигу, 2011). Добра илустрација овог аргумента је разлика између прототипског пројекта „Хомеостатички фасадни систем“ (*Homeostatic Facade System*), америчког архитектонског студија, Декер Јидон (Decker Yeadon, 2010) и нешто старијег пројекта за Арапски институт (*L'Institut du Monde Arabe*) у Паризу, архитектке Жана Нувела (Jean Nouvel). Хомеостатички фасадни систем чине елементи од еластомера, постављени између два слоја стаклених панела, који под утицајем електричне енергије мењају свој облик како би засенчили већу или мању површину фасадног платна. Осцилације у површини коју прекривају, синхронизоване су путем сензора са интензитетом сунчеве светлости. Променом облика, односно контракцијом елемената од еластомера, омогућена је контрола микро-климатских услова, што доводи до умањене потрошње енергије, која је неопходна за регулисање температуре унутар објекта. Веома сличан циљ и концепт има и добро познати пројекат за Арапски институт, реализован 1987. године. Међутим, фундаментална разлика између ова два пројекта је у примени сасвим различитих материјала ради реализације истоветног концепта. За разлику од Нувеловог пројекта, који примењује механички комплексно решење, сачињено од чврстих материјала са великим бројем компоненти и спојница, тридесет година млађи пример за хомеостатички фасадни систем се ослања на флексибилне материјале, чија структура и понашање имају заједничке карактеристике са биолошким ткивима. Фасада Арапског института данас више не функционише, већина механичких панела је у квару, њихова поправка представља превише

захтеван подухват и то управо због сложености механичких система који су били примењени. Остаје неизвесно да ли ће нови системи, који се заснивају својству еластичности, односно на променљивој молекуларној структури материјала, омогућити дужи животни век и бољу функционалност адаптивних техничких решења. Међутим, оно што је извесно, јесте да велики број савремених истраживања у архитектури покушава да открије управо овај потенцијал.

Знамо да се материјали из групе еластомера не примењују у грађевинској индустрији у истој мери као други материјали, ка што су на пример: дрво, камен или челик. Међутим, нови материјали, које попут еластомера карактерише способност промене облика, као што су одређене легуре на бази метала (*Shape Memory Alloys*), већ сада имају значајну примену у медицини и авио индустрији. Њихова основна предност је способност промене сопствене структуре под утицајем термалне или електричне енергије и повратка у првобитно стање након престанка таквог утицаја. За разлику од традиционалних грађевинских материјала, њихова молекуларна структура може заузети две конфигурације. Прва је релативно мекана и назива се „*martensit*“, док је друга чврста и назива се „*ostentit*“. Између ових стања, материјал може заузети мноштво међу-стања која се могу довести у службу неке одређене пројектантске стратегије која се заснива на адаптивним принципима (Addington, 2004). Данас и у архитектонском контексту, видимо веома узбудљива истраживања, која се заснивају на експлоатацији нових и још увек недовољно испитаних материјала. Архитекта Ник Пакет (Nick Puckett) у сарадњи са Департаманом за хемијско инжењерство Универзитета у Кентакију (*Department of Chemical Engineering at the University of Kentucky*) истражује примену материјала из групе полимера, међу које спадају и еластомери, у реализацији реактивних фасадних решења. На истоветан начин, као и претходно описане легуре на бази метала, полимери, који поседују способност промене сопственог облика (*Shape Memory Polymers SMP*), мењају сопствену хемијску структуру на основу осцилација у температури. Пројектантска стратегија, коју развија Пакет, усредсређена је на успостављање контроле над понашањем материјала, путем модификација његове хемијске или молекуларне структуре. На основу оваквих примера се може закључити да је уз пуно истраживачког рада, могуће очекивати да ће развој способности модификације хемијске структуре материјала уз примену рачунарски заснованих техника за

моделовање и производњу, отворити нове могућности у реализацији адаптивних просторних окружења.

### **Нова материјалност**

Импликације иманентних могућности за материјализацију и конструкцију адаптивних просторних окружења још увек нису у потпуности испитане у области архитектонског пројектовања и развијају се најчешће кроз парцијалне архитектонске стратегије, као што су наведена техничка решења фасадних система који реагују на климатске промене. Интерпретација односа материје и адаптивних принципа у организацији простора, извршена је на повезан, али различит начин у оквиру ове студије. У претходном току истраживања, на основу експеримента и истраживања аутономних процеса формације, које је спроводио Фреи Ото, и филозофским становиштима о морфогенетским потенцијалима материје, које развија Мануел Деланда, указано је на потенцијал ревидираног разумевања појма материјалности у архитектури. У оквиру дискусије о перформативном моделовању, идентификован је објектно оријентисани приступ (*object oriented programming OOP*), који се заснива на успостављању структура путем уређивања локалних односа, или интеракције и размене информација међу објектима који чине такву структуру. У архитектури, као и у програмирању, објектно оријентисано истраживање омогућава планирање структура, које настају на основу акумулације односа унутар велике популације објеката или „софтверских агената“ које карактерише одређени степен интелигенције, односно способности да донесу сопствене одлуке. Овакви системи називају се „мулти-агентски системи“ (*Multy Agent Systems MAS*) и данас налазе примену у различитим научним областима, као што су друштвене науке или економија. Могућност примене мулти-агентских система у архитектонском пројектовању се везује за проблеме чије размере варирају од најмањих до највећих, могу се односити на понашање и потребе великог броја корисника пројектованог простора, или на сасвим другом нивоу на молекуларне појаве које се одвијају у грађевинским материјалима. Истраживачки оријентисан рад архитектонског студија Кокуђа (*Kokugia*) пружа један од примера примене овакве стратегије. У низу експерименталних пројеката, они примењују технике наменског програмирања ради симулације различитих материјалних процеса чија логика се

заснива на успостављању релација између великог броја елемената (Snooks, 2009). Приступ се темељи на емергентним карактеристикама система чије уређење није засновано на геометријским и хијерархијским принципима, управо како је то предложио Стен Ален (Stan Allen, 1997) у оквиру теоријског модела „Поља“. На локалном нивоу, компоненте немају једно и фиксирано стање, већ се стално адаптирају према променљивим условима. Њихове интеракције резултирају појавом просторне организације и форме (Snooks, 2009).

У оквиру истраживања кроз пројекат, путем реализације прототипских модела, испитана је хипотеза према којој еластичност, као перформанса материјала, може бити аналогно повезана са адаптивним принципима у пројектовању сложених организација, структура и окружења. У односу на кључне одреднице теоријских модела „Поља“ и „Мреже“, улога еластичног понашања материјала је посматрана као један од кључних фактора у успостављању међусобне повезаности елемената структуре, диверзитета у оквиру саме структуре, сталног раста и способности саморегулације структуре.

### **Види, ја сам ту.**

Разговор са Марком Виглијем, аутором једног од два теоријска модела, која су постављана за полазиште истраживања кроз пројекат, након реализације прототипа, омогућио је још један критички угао гледања на резултате постигнуте током ове студије. Након прегледа низа фотографија прототипског модела, који је настао током радионице „Недоследности в.03“ у Београду, Вигли је изнео следећа запажања: „Има пуно флексибилности и гипкости у вашој структури. Просторија у којој је она инсталирана је мање-више бела, нама се представља као празна. Наравно, она није празна, већ је напуњена белином, али та белина каже: ја сам ништа. Зато нам се чини, кад гледамо просторију, да тамо нема ничега, да тамо постоји галерија и да се у тој галерији налази мрежа, која је наравно структура. Ако се загледам у вашу кошуљу или мој џемпер видећу нешто сасвим слично. Имамо слој беле боје, који се претвара да није присутан и говори: ја нисам ту. Заправо све што се налази овде је ништа. Ја представљам ништа. Током двадесетих година двадесетог века, архитекте су измислиле да бео зид означава празнину и ова идеја је толико успешно рекламирана да ми и данас верујемо да је

тачна. Међутим, само завршни слој је оно што нам говори, овде нема ничега. Онда када поставите мрежу унутар њега, он каже: види, ја сам ту. Мене јако интересују тачке контакта, где се једна структура спаја са другом структуром. Ако се фокусирам на било коју од ових тачака, где мрежа додирује зид или под, и ако се фокусирам на детаљ, ваша мрежа би постала, на неки начин, део беле површине. Ово је тренутак, када се људи забрину. Могао бих да кажем, ово је веома лепо и могао бих да ускочим право у то, међутим то је још увек само објекат, то је још увек једна слика. Свиђа ми се веома, али још увек изгледа као да је одвојена од мене и одвојена од просторије... Аргумент који настаје након Деконструктивистичке изложбе (*Architecture of Deconstruction, MoMA New York, Wigley and Johnson, 1988*) је био само један: уколико видим нешто што је очигледно додат, што дуже гледам у то, све више ми се чини да не могу да повучем линију између оригиналне ствари и онога што је додат. Као што знате из мог текста (*Network Fever, Wigley, 2001*), једна од најфасцинантнијих особина Мрежа, јесте да оне немају спољашњост. То се вероватно надовезује на Деридине (Jacques Derrida) текстове (*Architecture of Deconstruction Derrida's Haunt, Wigley 1993*), а текст је наравно текстил, не постоји ништа изван структуре. Структура је свет. Наравно, постоји много таквих светова, много таквих мрежа. Волео бих да знам где су овакве везе исечене и, наравно, да ли овакве везе могу нестати у зиду и појавити се негде другде. Могао бих да их искористим да направим телефонски позив“ (Wigley, 2012).

### **Методологија и митологија**

Основни допринос овог научног рада се огледа у развоју технике моделовања и пројектантских стратегија, путем продубљивања разумевања адаптивних принципа у концепцији и материјализацији архитектонске форме. Иницијално, истраживање је покренуто са идејом о остваривању доприноса на пољу развоја методологије архитектонског пројектовања. Након спроведеног истраживања кроз пројекат, вратио сам се на почетак са немаром да у читавом тексту, термин методологија заменим другим и јаснијим речима. Један од закључака овог рада чини реализација да се, уместо на методологију, ова студија односи на конкретније и оперативније значење, које везујемо за пројектантске

стратегије, технике моделовања и начине рада у архитектонском пројектовању, који су прилагођени савременим потребама. Разговор са Виглијем, пружио је прилику за још један осврт на ово питање. „Ја не верујем у методологију у архитектури. Током првих година рада на докторату, интересовала ме је методологија архитектонског пројектовања. Сада више не верујем да постоји методологија у архитектури. Архитекте, да кажемо, имају своје навике и имају своју психологију и имају своје технике. Вероватно, неко би могао да анализира архитекте и идентификује њихове методе. Међутим, чак и када бисте могли да произведете најдетаљнији могући опис понашања архитеката, никада не бисте могли да објасните одређени пројекат који су они извели. Мислим да дискусија о методологији није оно што је овде значајно, већ зашто имамо такво објашњење. Зато што, од Витрувија (Marcus Vitruvius Pollio), фигура архитекте није само особа која прави објекат, који је диван зато што одјекује геометријом универзума, већ особа која уме да објасни. Постоје два геста: један је да кажемо – архитектура је артикулисана грађевина, грађевина која говори, која говори истину, говори о лепоти космоса. Други је архитекта, који направи грађевину, и који је такође артикулисан и уме да појасни чињеницу да је грађевина усаглашена са универзумом. Једино зато што је фигура архитекте одувек прихваћена као фигура тумача, јавља се потреба за питањем методологије. Рекао бих да ниједан архитекта не зна како је произвео дело које је произвео, и да ниједан архитекта не може да објасни ефекте свог рада, и мислим да ниједан архитекта није заиста заинтересован за методологију. У архитектури, много радикалније него у било којој другој области, постоји дистанца између онога што је унутар и онога што је изван дисциплине. Унутар дисциплине, што значи унутар глава архитеката, унутар архитектонских студија, унутар архитектонских школа, на вечерама са другим архитектама... Видимо да је архитекта изузетно подложен мистеријама архитектуре, и подложен идејама са различитих страна, и да је архитектонска продукција изузетно колаборативна. И на јако малим пројектима, можемо имати више од сто људи, који на њему раде. Зато, позиција архитекте није условљена процесом или методологијом, већ отвореношћу за конверзацију. Друштво наравно не жели да зна за ово, јер друштво тражи објекат који представља стабилност и жели да овај објекат има уникати потпис архитекте, а овакав архитекта поседује гениозне способности. Уколико поставимо питање методологије, на пример: Како је овај пројекат произведен?, онда морамо рећи да је то процес у коме архитекта

има контролу само у оној мери у којој терапеут има контролу над терапијом, или кувар одговорност над готовим јелом. Добри архитекти су такође добри у омогућавању сарадње, и већина архитеката нема времена да пројектује, тако да заправо, пројектанти не пројектују. Пројекат раде они који нису именовани, и никада не могу бити именовани. Пројектовање је неименована процедура, коју спроводе неименоване фигуре. Сви разговори о методологији су покушаји да се продуби митологија архитектуре у студију, у школи, у главама архитеката“ (Wigley, 2012).

### **Од меког ка чврстом**

Препоруке за будућа истраживања обухватају два могућа правца. Први се односи на наставак развоја секвенце прототипских модела са прагматичним и конкретним циљем у виду реализације новог техничког решења или патента за систем просторних конструкција. Специфичност оваквог патента се заснива на непосредном укључивању знања из области грађевинске физике у процес конструктивне оптимизације просторних система, односно укључивање формативног утицаја карактеристика материјала на укупну геометријску конфигурацију просторне структуре. Уколико прихватимо да је еластичност једна од основних карактеристика грађевинских материјала, можемо да проценимо заснованост развоја новог система просторних конструкција чија се просторна логика заснива управо на еластичном понашању материјала од којих су сачињене. У оквиру овог правца истраживања постоји могућност разматрања других градивних материјала које, за разлику од еластомера, карактерише значајно мањи распон еластичне деформације. Дрвене или металне конструкције могу бити ефикасније конципиране и реализоване кроз итеративно структурирани процес пројектовања, а путем непосреднијег укључивања карактеристика градивног материјала.

Први корак на овом путу чини већ реализовано техничко решење у виду софтверске апликације за симулацију понашања материјала током процеса моделовања, чија је реализација документована током припрема за продукцију последњег прототипа у оквиру истраживања кроз пројекат. Овакво решење омогућава архитектонско пројектовање путем континулане адаптације модела, у



виду тренутног прилагођавања пројектоване просторне структуре према измењеним утицајима из њеног окружења или на основу њеног раста путем придруживања нових елемената.

### **Интелигенција биолошких система**

Други могући правац будућег истраживања се везује за питања просторних организација, и односи се на системско истраживање адаптивних принципа и њихову примену у архитектонском пројектовању. Питање, која ова линија истраживања отвара, односи се на приближавање реализацији просторних структура, које поседују интелигенцију и карактеристике биолошких система. Током истраживања кроз пројекат, које је документовано у другом делу ове дисертације, развијамо разумевање принципа еластичности, у виду реверзибилне промене на нивоу молекуларне структуре материјала, што постаје релевантно у оквирима ширег значења на нивоу архитектонских стратегија за пројектовање просторних организација, структура и окружења које су иницијално идентификоване у теоретским становиштима „Поља“ (Allen, 1997) и „Мреже“ (Wigley, 2001). У оквиру овог правца истраживања постоји потреба за даљим разматрањем просторних организација које истовремено изискују и подржавају нове форме друштвених, економских и културних институција, чија просторна уређења нису заснована на геометријским принципима, већ на другим, и тренутно у архитектури не сасвим видљивим, начелима. Питање, која ова линија истраживања отвара, односи се на даље разматрање просторних организација чија одрживост се заснива на способности саморегулације. Основна претпоставка овог истраживања, изнесена у уводном делу, јесте да је будућност архитектуре условљена њеном способношћу да се прилагоди променљивим околностима развијајући нове и агилније начине деловања.

Овај научни рад је фокусиран на интерни проблем унутар сопствене професије, на реорганизацију процеса пројектовања, остављајући аспекте примене као секундарну и знатно ширу тему за даље истраживање.

## БИБЛИОГРАФСКИ ИЗВОРИ

- Abadi Abbo, I. 1996. *Effectiveness Of Models, Full-Scale Modeling in the Age of Virtual Reality*. In: European Full-scale Modeling Association, 6th Conference. (online) Available at: <<http://cumincad.scix.net/data/works/att/a9ca.content.06914.pdf>> (Accessed 14 February 2013).
- Abadi Abbo, I. and Humberto C. C. 1994. *Ecological Validity of Real Scale Models, Beyond Tools for Architecture*. In: European Full-scale Modeling Association, 5th Conference. Wageningen, Netherlands, 6-9 September. pp.31-40
- Addington, M. and Schodeck, D. L. 2004. *Smart Materials and New Technologies*. London: Architectural Press.
- Aish, R., Woodbury R. 2005. *Multi-level Interaction in Parametric Design*. Lecture Notes in Computer Science Volume 3638. pp.151-62.
- Aish, R. 2005. *From Intuition to Precision*. Annals of the Architectural Association School of Architecture. June 2005, No 52. pp.62-63.
- Aish, R. 2006. *Instrumental Geometry*. In: M. Hansel, A. Menges and M. Weinstock., eds. Techniques and technologies in Morphogenetic Design. Architectural Design Volume 76(2). London: Wiley Academy. pp.42-53.
- Ahlquist, S. and Menges, A. 2011. *Behavior-based Computational Design Methodologies: Integrative processes for force defined material structures*. In: J. M. Taron, V. Perlac, B. Kolarevic, and J. Johnson, eds. Integration through Computation. Proceedings of the 31st Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture. Banff, Alberta 13-16 October, 2011. pp.82-89.
- Allen, S. 1997. *From Object to Field*. In: P. Davidson and D. Bates, eds. AD Profile 127, Architecture after geometry. Architectural Design Volume 67 (5/6). London: Academy Press. pp.24-31.
- Allen, S. 1999. *Field Conditions*. In: *Points and lines: diagrams and projects for the city*. New York: Princeton Architectural Press. pp.92-103.
- Allen, S. 2000. *Practice: architecture, technique and representation*. New York and London: Routledge.
- Alexander, C. 1964. *Notes on the Synthesis of Form*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- ArchiNed Rotterdam, and the Faculty of Architecture TU Delft., 2005. *Team 10 online*. (online) Available at: <http://www.team10online.org/>> (Accessed 2 February 2013).
- Atanacković, T. M. and Guran, A. 2000. *Hooke's law. Theory of elasticity for scientists and engineers*. Zurich: Birkhäuser.
- Attar, R., Aish, R., Stam, J., Brinsmead, D., Tessier, A., Glueck M., Khan. A. 2009. *Physics-based Generative Design*. In: T. Tidafi and T. Dorta eds. Joining Languages, Cultures and Visions. CAAD Futures 2009 Conference Proceedings. pp.231-44.
- Attar, R., Aish, R., Stam, J., Brinsmead, D., Tessier, A., Glueck M., Khan. A. 2010. *Embedded Rationality: A Unified Simulation Framework for Interactive Form-Finding*. *International Journal of Architectural Computing*. December 2010, Volume 8 (4). pp.399-418.
- Axelrod, R. 1997. *Advancing the Art of Simulation in the Social Sciences*. In: Conte, R., Hegselmann, R., Terna, P. eds. Simulating Social Phenomena. Berlin: Springer-Verlag, pp.21-40.
- Ayres, P. 2012. *Persistent Modelling – reconsidering Relations*. In: Persistent Modelling, Extending the Role of Architectural Representation. London: Routledge. pp.1-9.

- Bair, B. and Meyer-Miethke, S., eds. 1975. *IL14 Anpassungsfähig bauen. Adaptable Architecture*. Stuttgart: Institut für leichte Flächentragwerke Universität Stuttgart.
- Banham, R. 1976. *Megastructure: urban futures of the recent past*. New York: Harper and Row.
- Banham, R. 1960. *Theory and Design in the First Machine Age*. London: Architectural Press.
- Barthel, R. 2005. *Natural Forms: Architectural Forms*. In: W. Nerdinger ed. *Frei Otto Complete Works*. Basel: Birkhauser. pp.17-30.
- Balmond, C. 2002. *Informal*. New York and London: Prestel
- Beesley, P. 2001. *Making Nature*. In: R. MacHenry, and E. von Michalofski, eds. *On Growth and Form: textiles and the engineering of nature*. Toronto: Textile Museum of Canada. pp.11-15.
- Beesley, P. and Bonnemaïson, S., 2008. *On Growth and Form: Organic Architecture and Beyond*. Halifax Nova Scotia: Tuns Press.
- Bergson, H. 1990. *Matter and Memory (1896)*. Translated from French by N. M. Paul and W. S. Palmer., 1911. New York: Zone books.
- Bergson, H. 2001. *Time and Free Will: An Essay on the Immediate Data of Consciousness (1889)*. translated by F. L. Pogson., 1910. Mineola, New York: Dover Publications.
- Bergson, H. 1998. *Creative Evolution (1907)*. Translated from French by A. Mitchell., 1911. Mineola, New York: Dover Publications.
- Berlinski, D. 1999. *The Advent of the Algorithm: The Idea that Rules the World*. Orlando, Florida: Harcourt.
- van Berkel, B. and Bos, C. 1998. *Interactive Instruments in Operation*. In: B. van Berkel, and C. Boss, eds. *Diagram Work*. ANY, No 23. New York: Anyone Corporation. pp.19-23.
- van Berkel, B. and Bos, C. 1999. *Move: Imagination, Techniques, Effects*. Amsterdam: Architectura and Natura.
- von Bertalanffy, L. 1968, *General System theory: Foundations, Development, Applications*, New York: George Braziller.
- Borges, J. L. 1999. *On Exactitude in Science (1946)*. In: *Collected Fictions*. New York: Penguin Books. p.325.
- Boyd, R., 1968. *New directions in Japanese architecture*. New York: Braziller.
- Brodey, W. M. 1967. *The Design of Intelligent Environments: Soft Architecture*. Landscape, Autumn 1967. pp.8-12.
- Brydson, A. J. 1988. *Rubbery materials and their compounds*. London and New York: Elsevier Applied Science.
- Burry, M. 2002. *Rapid prototyping, CAD/CAM and human factors*. *Automation in Construction* 11(3). pp.313-33.
- Cilliers P. 1998. *Complexity and postmodernism: Understanding complex systems*. London and New York: Routledge
- Collins, G. R. 1963. *Antonio Gaudi, Structure and form*. *Perspecta* 8. New Haven, Connecticut: *Perspecta*, Yale School of Architecture. pp.63-90.
- Collins, G. R. 1971. *Antonio Gaudi and the uses of technology in modern architecture*. Princeton, New Jersey: Princeton University Press.
- Corby, V. 2010. *Eva Hesse, Longing, Belonging and Displacement*. London and New York: I. B. Tauris.

- Davidson, M. 1983. *Uncommon Sense: The Life and Thought of Ludwig Von Bertalanffy*. Los Angeles: J. P. Tarcher.
- Decker M. and Yeadon, P. 2010. Homeostatic Facade System. (online) Available at: <<http://www.deckeryeadon.com/projects/HomeostaticFacadeSystem.html>> (Accessed 14 February 2013).
- DeLanda, M. 1995. *Uniformity and Variability: An Essay in the Philosophy of Matter*. Doors of Perception: On Matter. November 07-11.1995. Amsterdam: Netherlands Design Institute.
- DeLanda, M. 1997. Immanence and Transcendence in the Genesis of Form. In: I. Buchanan, ed. *A Deleuzian Century*. South Atlantic Quarterly, Vol 96. Durham: Duke University Press. pp.499-514.
- DeLanda, M. 1998. *Deleuze, Diagrams and Genesis of Form*. In: B. van Berkel and C. Boss eds. *Diagram Work*. ANY, No 23. New York: Anyone Corporation. pp.30-34.
- DeLanda, M. 1998. *Deleuze and the Genesis of Form*. Art Orbit, No 1. Stockholm: Art Node. (online) Available at: <[http://www.artnode.se/artorbit/issue1/f\\_deleuze/f\\_deleuze\\_delanda.html](http://www.artnode.se/artorbit/issue1/f_deleuze/f_deleuze_delanda.html)> (Accessed 14 February 2013).
- DeLanda, M. 2000. *Deleuze and the Use of the Genetic Algorithm in Architecture*. (online) Available at: <<http://www.cddc.vt.edu/host/delanda/pages/algorithm.htm>> (Accessed 14 February 2013).
- Deleuze, G. 1988. *Bergsonism (1966)*. Translated from French by H. Tomlinson and B. Habberjam. New York: Zone Books.
- Deleuze, G. and Guattari, F. 1988. *Thousand Plateaus (1980)*. Translated from French by B. Massumi., 1988. London: The Athlone Press.
- Deleuze, G., 1994. *Difference and Repetition (1968)*. Translated from French by P. Patton., 1994. New York: Columbia Press.
- Doumpiotti, C. 2011. *Responsive and Autonomous Material Interfaces*. In: J. M. Taron, V. Perlac, B. Kolarevic, and J. Johnson, eds. *Integration through Computation. Proceedings of the 31st Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture*. Banff, Alberta 13-16 October, 2011. pp.318-325.
- Ednie-Brown, P. 2008. *Plastic Super Models*. In: A. Murphie and G. Genosko eds. *Models, Metamodels and Contemporary Media*, Fibreculture Journal, Issue 12. (online) Available at <<http://twelve.fibreculturejournal.org/fcj-078-plastic-super-models-aesthetics-architecture-and-the-model-of-emergence/>>(Accessed 14 February 2013).
- Eisenman, P. 1998. *Diagram: An Original Scene of Writing*. In: B., van Berkel, and C., Boss, eds. *Diagram Work*. ANY, No 23. New York: Anyone Corporation. pp.27-29.
- Eisenman, P. 1999. *Diagram Diaries*. London: Thames and Hudson.
- Eisenman, P. 2003. *The Formal Basis of Modern Architecture (1963)*. Zurich: Lars Muller Publishers.
- Engel, H. 2009. *Tragsysteme - Structure Systems*. Hamburg: Hatje Cantz Verlag.
- Evans, R., 1995. *Projective Cast*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Evans, R. 1997. *Translations from drawing to building and other essays*. London: Architectural Association Publications.
- van Eyck, A. 1962. *Steps toward a configurative discipline*. Forum No 3. pp.81-94.
- Fer, B. ed. 2009. *Eva Hesse Studiowork*. New Haven: Yale.

- von Foerster, H. 1961. *A Predictive Model for Self-Organizing Systems*. Cybernetica 3. pp.258-300.
- von Foerster, H. and Ashby W.R. 1964. *Biological Computers*. In: M. K. E. Schaefer, ed. Bioastronautics. New York: Macmillan Co. pp.333-60.
- Fornes, M. 2011. *Frac Centre*. (online) Available at: <<http://theverymany.com/constructs/10-frac-centre/>> (Accessed 15 October 2011).
- Fornes, M. 2011. *Centre Pompidou*. (online) Available at: <<http://theverymany.com/constructs/11-centre-pompidou/>> (Accessed 15 October 2011).
- Fornes, M. 2010. *n|Strip*. (online) Available at: <<http://theverymany.com/constructs/10-nstrip/>> (Accessed 15 October 2011).
- Fornes, M. 2009. *n|Edg*. (online) Available at: <<http://theverymany.com/constructs/09-nedg/>> (Accessed 15 October 2011).
- Freiser, J. 1993. *The architectural relevance of cybernetics*. Systems Research No 10. pp.43-48.
- Freiser, J. 1995. *An Evolutionary Architecture*. London: Architectural Association Publications.
- Frei, O. et al. eds. 1982. *Natürliche Konstruktionen: formen un strukturen in natur und techik und prozesse ihre entsthung*. Stuttgart: Dutche Verlag-Anstalt.
- Friedman, Y. 1960. *The Future: Mobile Architecture*. Architectural Design No 30, p.356.
- Fry B. and Reas C. 2001. *Processing Wiki - Processing Architecture*. (online) Available at: <[http://wiki.processing.org/w/Processing\\_Architecture](http://wiki.processing.org/w/Processing_Architecture)> (Accessed 13 February 2013).
- Fuller, R. B. 1973. *Nine Chains to the Moon (1938)*. London: Cape.
- Fure, A. 2011. *Digital Materiallurgy: On the productive force of deep codes and vital matter*. In: J. M. Taron, V. Perlac, B. Kolarevic, and J. Johnson, eds. Integration through Computation. Proceedings of the 31st Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture. Banff, Alberta 13-16 October, 2011. pp.90-97.
- Ganti, T. 2003 *The Principles of Life* (1971). New York: Oxford University Press USA.
- Gershenfeld, N. 2005. *Fab: the coming revolution on your desktop-from personal computers to personal fabrication*. New York: Basic Books.
- Gershenfeld, N. 2005. How to make almost anything. *The Economist*, June 9th.
- Gibson, I. and Kvan, T. 2001. *The use of Rapid Prototyping for Architectural Concept Modelling*. In: Rapid Product Development Association of South Africa, 2nd Annual Conference on Rapid Technologies. 14-15 November. pp.27-35.
- Gideon, S. 1941. *Time, Space and Architecture*. Cambridge, Massachusetts: Harvard University Press.
- Giralt-Miracle, D. 2002. *Gaudi. Exploring form: space, structure and construction*. Barcelona: Planeta Pub Corporation.
- Giunta, A. and Perez-Oramas, L. 2009. *Leon Ferrari and Mira Schendel: Tangled Alphabets*. New York: The Museum of Modern Art.
- Gu, N., Jones W. M. and Williams A. 2010. *Utilising digital design and rapid prototyping tools in design education*. In: Computer Aided Architectural Design Research in Asia, 15th International Conference. Hong Kong. 7-10 April. pp.249-58.
- Goodman, N. 1968. *Languages of Art: An Approach to a Theory of Symbols*. Indianapolis: Bobbs-Merrill Company.
- Habraken, J. 1972. *Supports, an Alternative to Mass Housing*. London: Architectural Press.
- Harary, F. 1969. *Graph Theory*. Reading, Massachusetts: Addison-Wesley.

- Haque, U. 2007. The Architectural Relevance of Gordon Pask. In: L. Bullivant ed. Interactive Design Environments. Architectural Design Volume 77(4). London: Wiley Academy. pp.54–61.*
- Hertzberger, H. 2000. Space and the architect. Rotterdam: 010 Publishers.*
- Hertzberger, H. 2008. Space and learning. Rotterdam: 010 Publishers.*
- Hertzberger, H. 2009. The relational space. Rotterdam: 010 Publishers.*
- Hensel, M., Menges, A. and Weinstock, M. eds 2004. Emergence: Morphogenetic Design Strategies. Architectural Design Volume 74 (3). London: Wiley Academy.*
- Hensel, M. 2006. Synthetic Life-Architectures - Ramifications and Potentials of a literal Biological Paradigm for Architectural Design. In: M. Hansel, A. Menges and M. Weinstock., eds. Techniques and technologies in Morphogenetic Design. Architectural Design Volume 76(2). London: Wiley Academy. pp.18-25.*
- Hensel, M., and Menges, A. 2006. Differentiation and Performance: Multi-performative Architectures and Modulated Environments. In: M. Hansel, A. Menges and M. Weinstock., eds. Techniques and technologies in Morphogenetic Design. Architectural Design Volume 76(2). London: Wiley Academy. pp. 60-69*
- Hensel, M., and Menges, A. 2008. Versatility and Vicissitude: An Introduction to Performance. In: Versatility and Vicissitude: Performance in Morpho-Ecological Design. Architectural Design Volume 78(2). London: Wiley Academy. pp.6-11.*
- Hensel, M., and Menges, A. 2008. Inclusive Performance: Efficiency versus Effectiveness. In: Versatility and Vicissitude: Performance in Morpho-Ecological Design. Architectural Design Volume 78(2). London: Wiley Academy. pp.54-63*
- Hensel, M., Menges, A. and Weinstock, M. 2010. Emergent Technologies and Design - Towards a biological Paradigm for Architecture. London: Routledge.*
- Hensel, M. 2010. Performance-oriented Architecture - Towards a Biological Paradigm for Architectural Design and the Built Environment. FORMAkademisk Volume 3 (1). pp.36-56.*
- Hensel, M. 2011. Performance-oriented Architecture and the Spatial and Material Organisation Complex - Rethinking the Definition, Role and Performative Capacity of the Spatial and Material Boundaries of the Built Environment. FORMAkademisk. Volume 4 (1). pp.3-23.*
- Hensel, M. 2012. Sustainability from a Performance-oriented Architecture Perspective - Alternative Approaches to Questions regarding the Sustainability of the Built Environment. Sustainable Development Volume 20 (3). pp.146-154.*
- Hillier, B. 1996. Space is the machine: a configurational theory of architecture. Cambridge University Press.*
- Hillier, B. and Hanson, J. 1989. The Social Logic of Space (1984). Cambridge University Press.*
- Hoffmeister F. and Back T. 1991. Genetic Algorithms and Evolution Strategies: Similarities and Differences. Lecture Notes in Computer Science, 496. pp.681–89.*
- Hoffmann, C. M. and Joan-Arinyo, R. 2005. A brief on constraint solving. Computer-Aided Design and Application, 2. pp.655–63.*
- Holland, J. 1992. Adaptation in Natural and Artificial Systems: an introductory analysis with applications to biology, control, and artificial intelligence (1975). Cambridge, Massachusetts: MIT Press.*
- Holland, J. 1996. Hidden Order: How Adaptation Builds Complexity. New York: Basic Books.*
- Holland, J. 1999. Emergence: from chaos to order. Reading, Massachusetts: Perseus Books.*

- Holland, J. H. 2006. *Studying Complex Adaptive Systems*. Journal of Systems Science and Complexity, 2006, 19(1). pp1-8.
- Huerta, S. 2006. *Structural Design in the Work of Gaudi*. Architectural Science Review Volume 49(4). pp.324-39.
- Huizi, M. E., Manrique, J. and Ramirez M. C. eds. 2005. *Sabiduras: And Other Texts by Gego*. International Center for the Arts of the Americas. Houston: The Museum of Fine Arts.
- Isozaki, A. 1975. *Easing Architecture into the System*. Translated from Japanese by A. Birnbaum. In: H.U. Olbrist ed. 1975. RE:CP. Basel: Birkhauser.
- Jacobs, P.F. 1992. *Rapid Prototyping and Manufacturing: Fundamentals of StereoLithography*. Dearborn, Michigan: Society of Manufacturing Engineers.
- Jeanneret, C. E. (1977). *Ka pravoj arhitekturi (1923)*. Prevod R. Nikolajević. Beograd: Građevinska knjiga.
- Jones, O. 2001. *Grammar of the Ornament (1856)*, London: Herbert Press.
- Kauffman, S. A. 1993. *The Origins of Order Self-Organization and Selection in Evolution*. Oxford Oxford: University Press.
- de Kestelier, X. and Buswell, R. 2009. *A Digital Design Environment for Large- Scale Rapid Manufacturing*. In: Association for Computer Aided Design in Architecture, 29th Annual Conference. Chicago, Illinois 22-25 October. pp.201-08.
- Kilian, A. 2004. *Linking Digital Hanging Chain Models to Fabrication, Fabrication: Examining the Digital Practice of Architecture*. In: AIA, Technology in Architectural Practice Knowledge Community. Cambridge, Ontario 8-14 November. pp.110-25.
- Kipnis, J. 1993. *Towards New Architecture*. In: G. Lynn, ed. *Folding in Architecture 1993*. Architectural Design No 102. London: Academy Press. pp.40-49.
- Khan, O. 2012. *A Communications Primer revisited*. In: P. Ayers ed. *Persistent Modeling*. London and New York: Routledge. pp.51-62.
- Khoo, C. K., Burry, J. and Burry, M. 2011. *Soft Responsive Kinetic System*. In: J. M. Taron, V. Perlac, B. Kolarevic, and J. Johnson, eds. *Integration through Computation*. Proceedings of the 31st Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture. Banff, Alberta 13-16 October. pp.334-41.
- Kjaer, B. 1987. *Progress Towards An American Full Scale Environmental Design Simulation Laboratory*. European Full-Scale Modeling Association, 1st Conference. Copenhagen, 15-16 January. pp.45-51.
- Klaasen, I. 2005. *Modelling Reality*. In: T. M. De Jong and D.J.M. Van Der Voordt eds. *Ways to Study and Research*. Delft: Delft University Press. pp.181-88.
- Kluger, J. 2008. *Simplexity: Why Simple Things Become Complex and How Complex Things Can Be Made Simple*. New York: Hyperion
- Kolarević, B. 2003. *Architecture in the Digital Age: Design and Manufacturing*. London and New York: Spon Press (Taylor and Francis).
- Kolarević, B. 2003. *Digital Fabrication: From Digital to Material*. Crossroads of Digital Discourse In: Association for Computer Aided Design in Architecture, Annual Conference. Indianapolis, Indiana, 24-27 October. pp.54-55.
- Kolarević, B. 2003. *Computing the Performative in Architecture*. Digital Design, 21th eCAADe Conference Proceedings. Graz, Austria 17-20 September 2003. pp.457-64
- Kolarević, B. 2004. *Designing and Manufacturing in the Digital Age, Fabrication: Examining the Digital Practice of Architecture*. In: AIA Technology in Architectural Practice Knowledge Community. Cambridge, Ontario 8-14 November.

- Kolarević, B. and Malkawi A. 2005. *Performative Architecture: Beyond Instrumentality*. London and New York: Spon Press (Taylor and Francis).
- Kolarević, B. and Klinger K. 2008. *Manufacturing Material Effects: Rethinking Design and Making in Architecture*. London and New York: Routledge (Taylor and Francis).
- Kolarević, B. 2008. *Post-Digital Architecture: Toward integrative design*. In: *Critical Design: What Matters(s)?*. Cambridge, Massachusetts: Harvard Graduate School of Design, pp.149-57.
- Kolarević, B. 2009. *Towards Integrative Design*. *International Journal of Architectural Computing* Volume 7(3). pp.335-44.
- Kotsopoulos, S and Sass L. 2008. *Teaching Architectural Design through Computer Modeling, Rendering and Digital Fabrication*. La Sociedad Iberoamericana de Gráfica Digital, 12th Iberoamerican Congress of Digital Graphics. La Habana, Cuba, 1-5 December. (online) Available at: <[http://cumincad.scix.net/data/works/att/sigradi2008\\_099.content.pdf](http://cumincad.scix.net/data/works/att/sigradi2008_099.content.pdf)> (Accessed 15 October 2011).
- Krantz, B. 1987. *The Full-Scale Laboratory in Lund*. In: *European Full-Scale Modeling Association, 1st Conference*. Copenhagen, 15-16 January. pp.7-17.
- Kudless, A., and Vukcevič, I. 2006. *Flexible Formwork Research*. In: *Association for Computer-Aided Design in Architecture, 25th Annual Conference*. pp. 555-56. (online) Available at: <[http://cumincad.scix.net/data/works/att/acadia06\\_555.content.pdf](http://cumincad.scix.net/data/works/att/acadia06_555.content.pdf)> (Accessed 14 February 2013).
- Kudless, A. 2009. *P Wall*. (online) Available at: <[http://matsysdesign.com/2009/08/11/p\\_wall2009/](http://matsysdesign.com/2009/08/11/p_wall2009/)> (Accessed 14 February 2013).
- Kudless, A. 2009. *San Francisco Museum of Modern Art June Update*. (online) Available at: <<http://matsysdesign.com/2009/06/25/sfmoma-update/>> (Accessed 14 February 2013).
- Kudless, A. 2009. *P Wall Reinstalled at San Francisco Museum of Modern Art*. (online) Available at: <[http://matsysdesign.com/2011/08/26/p\\_wall-reinstalled-sfmoma/](http://matsysdesign.com/2011/08/26/p_wall-reinstalled-sfmoma/)> (Accessed 14 February 2013).
- Kudless, A. 2009. *Design and fabrication of the Wall P*. In: Becke, J Curator, *Sensate Bodies and Design SFMoMA*. (online) Available at: <[http://sfmoma.museum/exhib\\_events/exhibitions/397/](http://sfmoma.museum/exhib_events/exhibitions/397/)> (Accessed 14 February 2013).
- Kudless, A. 2011. *Bodies in Formation: The material eVolumeution of flexible formworks*. In: J. M. Taron, V. Perlac, B. Kolarevic, and J. Johnson, eds. *Integration through Computation. Proceedings of the 31st Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture*. Banff, Alberta 13-16 October, 2011. pp.98-105.
- Kull, U. 2005. *Frei Otto and Biology*. In W. Nerdinger ed. *Frei Otto Complete Works*. Basel: Birkhauser. pp.40-53.
- Kurokawa, K. 1977. *Metabolism in architecture*. London: Studio Vista.
- Kvan, T., Gibson, I. and Ming, L.W. 2000. *Rapid Prototyping for Architectural Models*. In: ECPPM, *Product and Process Modelling in Building and Construction*. Lisbon: Balkema Publishers. pp.351-59.
- Kwinter, S. 1996. *Soft Systems*. In B. Boigon, ed. *Culture Lab No1*. New York: Princeton Architectural Press. pp.207-208
- Kwinter, S. 1998. *The Genealogy of Models: The Hammer and the Song*. ANY, Number 23. New York: Anyone Corporation. pp.23 -26.
- Kwinter, S. 1998. *La citta nuova, modernity and continuity (1986)*. In: M. Hyes, ed. *Architecture there since 1968*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press. pp.586-614.



- Kwinter, S. 2001. *Architectures of Time: Toward a Theory of the Event in Modernist Culture*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Kwinter, S. 2008. *A Discourse on Method*. In: R. Geiser ed. *Explorations in Architecture: Teaching Design Research*. Basel: Birkhauser. pp.34-47.
- Landau, R. 1968. *New directions in British Architecture*. London: Studio Vista.
- Larman, C. and Basili, R. V. 2003. *Iterative and Incremental Development: A Brief History*. IEEE Computer Society 36 (6). pp.47–56.
- Latour, B. and Yaneva A. 2008. *Give me the gun and I will make all buildings move: an ants view of architecture*. In Geiser, R. ed. *Explorations in Architecture: Teaching, Design, Research*. Basel: Birkhauser. pp.80-89.
- Leslie, L. M. and Dietachmayer, G.S. 1992. *Real time limited area numerical weather prediction in Australia: a historical perspective*. Australian Meteorological Magazine 41. pp.61-77.
- Lin, Z. 2010. *Kenzo Tange and the Metabolist movement: urban utopias of modern Japan*. New York: Routledge.
- Lippard, L. 1976. *Eva Hesse*. New York: DeCapo Press.
- Loadman, J. 1999. *Analysis of Rubber and Rubber-like Polymers*. Amsterdam: Kluwer, Springer.
- Loadman, J. 2005. *Tears of the tree. The story of the rubber - a modern marvel*. Oxford: Oxford University Press.
- Lüchinger, A. 1981. *Structuralism architecture and urban planning*. Stuttgart: Karl Kramer.
- Lynch, P. 2007. *The Origins of computer weather prediction and climate modeling*. *Journal of Computer Physics* 227. Elsevier. pp.3431-44.
- Lynn, G. 1998. *Folds, Bodies and Blobs: collected essays*. Bruxelles: La Lettre vole, Books-by-Architects.
- Lynn, G. 1999. *Animate Form*. New York: Princeton Architectural Press.
- March, L. and Steadman, J. P. 1971. *The Geometry of Environment: an Introduction to Spatial Organization in Design*. Cambridge, Massachusetts : MIT Press.
- McLuhan, M. 1994. *Understanding Media: The Extensions of Man (1964)*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Meissner, I. 2005. *In harmony with nature and technology: On Frei Otto's architecture and work method*. In W. Nerding ed. *Frei Otto Complete Works*. Basel: Birkhauser. pp.17-30.
- Mihajlović, M. i Ristivojević, A. 1995. *Osobine i performanse materijala u arhitekturi*. Beograd: Arhitektonski fakultet Univerziteta u Beogradu.
- Mitchell, W. J. 1974. *Computer-Aided Design and the Architecture Student in the United States*. NMG-GRS Journal: Design Research and Methods 8(4). pp.210-17.
- Mitchell, W. J. 1975. *The theoretical foundation of computer-aided architectural design*. *Environment and Planning B*(2). pp.127-50.
- Mitchell, W. J. 1977. *Computer-Aided Architectural Design*. New York: Van Nostrand Reinhold.
- Mitchell, W. J. 1994. *Three Paradigms for Computer-Aided Design. Automation in Construction* Volume 3. pp.239-45.

- Mitchell, W. J. 1990. *The Logic of Architecture: Design, Computation, and Cognition*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Modeen, T. 2003. *The Use of Rapid Prototyping for the Conceptualization and Fabrication of Architecture*. In: *Association for Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe 21th Conference*. Graz, 17-20 September. pp.351-61.
- Morgan, M.S. and Morrison, M. 1999. *Models as Mediators*. Cambridge Massachusetts: Cambridge University Press.
- Negroponte, N. 1970. *The Architecture Machine: Toward a More Human Environment*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Negroponte, N. 1975. *The Soft Architecture Machines*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Nerdinger, W. 2001. In: Herzog, T., Flagge, I., Herzog-Loibl, V., Meseure, eds. *rchitektur + Technologie = architecture + technology*. München: Prestel.
- Nixon M. ed. 2002. *October Files: Eva Hesse*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Pernice, R. 2004. *Metabolism Reconsidered: Its Role in the Architectural Context of the World*. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, Volume 3(2). p. 359.
- Perez-Ormas, L. 2009. *Tangled Alphabets: Introduction to the exhibition*. (online) Available at: <<http://www.moma.org/explore/multimedia/videos/44>> (Accessed 10 December 2010).
- Perez-Ormas, L. 2009. *Tangled Alphabets: Introduction to the exhibition*. (online) Available at: <http://www.moma.org/interactives/exhibitions/2009/tangledalphabets/> (Accessed 10 December 2010).
- Perez-Ormas, L. 2007. *New Perspectives in Latin American Art, 1930–2006*. (online) Available at: <[http://www.moma.org/collection/object.php?object\\_id=94991](http://www.moma.org/collection/object.php?object_id=94991)> (Accessed 10 December 2010).
- Peruga, I. 2003. *Gego, obra completa 1955-1990*. Caraca: Fundación Cisneros.
- Pevsner, N. 1976. *A history of building type*. New Jersey: Princeton University Press.
- Pollock, G. and Vanessa C. eds. 2006. *Encountering Eva Hesse*. London: Prestel.
- Otto, F. and Rasch, B. 1996. *Finding Form: Towards an Architecture of the Minimal*. Stuttgart: Edition Axel Menges.
- Raiser, J. and Umemoto N. 2006. *Atlas of Nouvel Tectonics*. New York: Princeton Architectural Press.
- Research Centre for Experimental Practice at the University., 2010. *The Archigram Archival Project*. (online) Available at: <http://archigram.westminster.ac.uk/index.php>> (Accessed 2 February 2013).
- Risselada, M. and van den Heuvel D. eds. 2005. *Team 10 1953 - 1981: In Search of A Utopia of the Present*. Rotterdam: NAI Publishers.
- Roland, C. 1965. *Frei Otto: Spannweiten. Ideen und Versuche zum Leichtbau*. Ein Werkstattbericht von Conrad Roland. Berlin, Frankfurt/Main und Wien: Ullstein.
- Ross, F. 1978. *Beyond metabolism: The new Japanese architecture*. New York: Architectural record books.
- Parsons, R and Akos, Gil. 2011. *Form Force Matter: Investigating form-active systems through analog machines and physics-based simulation*. In: J. M. Taron, V. Perlac, B. Kolarevic, and J. Johnson, eds. *Integration through Computation*. Proceedings of the 31st Annual Conference of the Association for Computer Aided Design in Architecture. Banff, Alberta 13-16 October, 2011. pp.106-09.

- Pask, G. 1969. *The Architectural Relevance of Cybernetics*. Architectural Design Volume 9. pp.494-96.
- Pask, G. 1976. *Conversation Theory, Applications in Education and Epistemology*. Amsterdam: Elsevier.
- Price, C. 1984. *Cedric Price*. London: Architectural Association.
- Puckett, N. 2011. *Active Patterns*. (online) Available at: <<http://altnresearch.com/2011/08/19/active-patterns> > (Accessed 15 March 2013).
- Ramsgard Thomsen, M. 2012. *How would it be to live in a soft space*. In: Voyatzaki, M. and Spiridonis, C. eds. *Scalesless Seamless Performing less fragmented architecture education and practice*. Proceedings of the international conference European Association for Architectural Education. Muenster. 15-18 November, 2012. pp.85-97.
- Raynolds, C. W. 1986. *Boids*. (online) available at: <<http://www.red3d.com/cwr/boids/>> (Accessed 14 February 2013).
- Reynolds C. W. 1987. *Flocks, herds and schools: A distributed behavioral model*. Computer Graphics 21(4). pp.25-34.
- Rahm, P. 2009. *Towards a meteorological architecture*. (online) available at: <<http://www.philipperahm.com/data/rahm-office.pdf> > (Accessed 14 February 2013).
- Roberts, R. 2008. *MoMA Highlights since 1980*. New York: The Museum of Modern Art, p. 47.
- Rodriguez, G. 1996. *Real scale model vs. computer generated model: Full-Scale Modeling in the Age of Virtual Reality*. In: European Full-scale Modeling Association, 6th Conference. (online) Available at: <<http://cumincad.scix.net/data/works/att/e1a1.content.08585.pdf>> (Accessed 14 February 2013).
- Safdie, M. 1996. *The Medium and Language of Architecture*. In: M. Safdie, ed. 2009. *Moshe Safdie One*. Victoria Australia: Images Publishing.
- Sadler, S. 2005. *Archigram Architecture without Architecture*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Sass L. 2004. *Rapid Prototyping Techniques for Building Program Study*. In: Computer Aided Architectural Design Research in Asia, 9th International Conference. Seoul, Korea 28-30 April. pp.655-70.
- Schnädelbach, H. 2010. *Adaptive Architecture. A Conceptual Framework*. (online) Available at: <[http://www.cs.nott.ac.uk/~hms/pdfs/Schnadelbach\\_AdaptiveArchitectureConceptualFramework\\_MediaCity2010.pdf](http://www.cs.nott.ac.uk/~hms/pdfs/Schnadelbach_AdaptiveArchitectureConceptualFramework_MediaCity2010.pdf)> (Accessed 15 March 2013).
- Schumacher, P. 2008. *Parametricism as Style - Parametricist Manifesto*. (online) Available at: <<http://www.patrikschumacher.com/Texts/Parametricism%20as%20Style.htm>> (Accessed 13 February 2013).
- Schumacher, P. 2008. *Style as Research Programme*. In: DRL TEN, AADRL Documents 2. London: Architectural Association Publications. (online) Available at: <<http://www.patrikschumacher.com/Texts/Style%20as%20Research%20Programme.htm>> (Accessed 13 February 2013).
- Schumacher, P. 2009. *Parametricism - A New Global Style for Architecture and Urban Design*. In: N. Leach ed. *Digital Cities*. Architectural Design Volume 79(4). London: John Wiley and Sons. pp.14-23.
- Schumacher, P. 2009. *Parametric Patterns*. In: M. Garcia, ed. *Patterns of Architecture*. Architectural Design Volume 79(6). London: John Wiley and Sons. pp.28-41.
- Schumacher, P. 2010. *Parametric Diagrams (2008)*. In: M. Garcia, ed. 2010. *The Diagrams of Architecture*. London: John Wiley and Sons. pp.260-70.

- Shannon, C. E. 1948. *A Mathematical Theory of Communication*. Bell Systems Technical Journal Volume 27. pp 379-423.
- Snooks, R. 2009. *Swarm Matter*. (online) Available at: < <http://www.kokkugia.com> > (Accessed 15 March 2013).
- Somol, R. and Whiting, S. 2003. *Notes around the Doppler Effect and Other Moods of Modernism*. Perspecta No 33. pp.72-77.
- Somol, R. 1999. *Diagrammatic Basis of Contemporary Architecture*. In: P. Eisenman, ed. 1999. *Diagram Diaries*. Thames and Hudson. pp.6-25.
- Somol R. 1998. *The Diagrams of Matter*. In: B. van Berkel, and C. Boss, eds. *Diagram Work*. ANY, No 23. New York: Anyone Corporation. pp.57 -62.
- Sperling, D. 2003. *Diagrams, Modeling and Rapid Prototyping: Interface Between Design of Form Process and Topology*. In: *Association for Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe 21th Conference*. Graz, 17-20 September. pp.329-32
- Spuybroek, L. 2008. *The architecture of continuity*. Rotterdam: NAI Publishers.
- Steadman, J. P. 1983. *Architectural morphology, an introduction to the geometry of building plans*. London: Pion.
- Steadman, J. P. 1979. *The Evolution of Designs - Biological Analogy in Architecture and the Applied Arts*. Cambridge University Press.
- Steel, B. 2008. *Prototyping Architecture's Future, Again*. In: Kolarević, B. and Klinger K. eds. *Manufacturing Material Effects: Rethinking Design and Making in Architecture*. London and New York: Routledge (Taylor and Francis). pp1-4.
- Sterrett, J. 2002. *Eva Hesse's artistic process*. (online) Available at: <<http://www.sfmoma.org/explore/multimedia/videos/160>> (accessed 10 December 2010).
- Stiny, G. and Gips, J. 1972. *Shape grammars and the generative specification of painting and sculpture*. In: *Information Processing No 71*. Amsterdam and New York: North-Holland Publishing Company. pp.1460-65.
- Stiny, G. 1978. *Algorithmic Aesthetics*. Berkeley: University of California Press.
- Stiny, G. 1980. *Introduction to shape and shape grammars*. *Environment and Planning B, Planning and Design* 7(3). pp.343-51.
- Stiny, G. 2006. *Shape*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Stolfi, J. and Broder, A. 1984. *Pessimal algorithms and simplexity analysis*. *ACM SIGACT*, Volume 16(3). pp.49-53.
- Strauven, F. 1996. *Aldo Van Eyck's Orphanage: A modern Monument*. Rotterdam: NAI Publishers.
- Sussmann, E. 2002. *Eva Hesse*. New Haven, Connecticut: Yale University Press.
- Sussmann, E. and Wassermann, F. 2006. *Eva Hesse Sculpture*. New Haven, Connecticut: Yale University Press.
- Terzidis, K. 2006. *Algorithmic Architecture*. Oxford: Architectural Press an imprint of Elsevier.
- Thompson, D. 1917. *On Growth and Form (1961)*. Cambridge UK: Cambridge University Press.
- Tomlow, J. 1989. *The model: Antoni Gaudi's hanging model and its reconstruction, new light on the design of the Church of Colonia Güell*. IL Volumeume 34. Institut für leichte Flächentragwerke Universität Stuttgart.

- Urbach, H. 2009. *Sensate: Bodies and Design*. San Francisco Museum of Modern Art (online) Available at: <[http://www.sfmoma.org/about/press/press\\_exhibitions/releases/433](http://www.sfmoma.org/about/press/press_exhibitions/releases/433)> (Accessed 14 February 2013).
- Vanucci M. 2007. *Open systems: approaching novel parametric domains*. In: T. Sakamoto, A. Ferre, M. Kubo eds. *From Control to Design: Parametric and Algorithmic Architecture*. Barcelona: ACTAR.
- Varela, F. J., Maturana, H. R. and Uribe, R. 1974. *Autopoiesis: the organization of living systems, its characterization and a model*. *Biosystems Volume 5*. pp.187–96.
- Varela, F. J. and Maturana, H. R. 1980. *Autopoiesis and Cognition. The Realization of the Living*. Dordrecht: Reidel.
- Varene F. and Phan, D. 2010. *Agent-Based Models and Simulations in Economics and Social Sciences: from conceptual exploration to distinct ways of experimenting*. *Journal of Artificial Societies and Social Simulation JASSS*, Number 13(1) 5. (online) Available at: <<http://jasss.soc.surrey.ac.uk/13/1/5.html>> (Accessed 13 February 2013).
- Vervoort, S. 2011. *The Modus Operandi of the Model*. In: Floris, J., Holtrop, A. and Teerds, H. eds. *Models Maquettes*. *Journal of Architecture OASE 84*. Rotterdam: NAI Publishers.
- van der Voordt T. 2005. *Evaluating Prototypes*. In: T. M. De Jong and D.J.M. Van Der Voordt eds. *Ways to Study and Research*. Delft: Delft University Press. pp.169-73.
- Wagner A.M. 1996. *Three Artists (Three Women): Modernism and the Art of Hesse, Krasner and O'Keefe*. Berkley: University of California Press.
- Wachsmann, K. 1961. *Turning point of building*. New York: Reinhold.
- Weinstock, M. and Santhoolousos N. 2006. *Advanced Simulation in Design*. In: M. Hansel, A. Menges and M. Weinstock., eds. 2006. *Techniques and technologies in Morphogenetic Design*. *Architectural Design No 76(2)*. London: Wiley Academy. pp.54–59.
- Wiener, N. 1961. *Cybernetics: Or Control and Communication in the Animal and the Machine* (1948). Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Wigley, M. 1993. *The Architecture of Deconstruction: Derrida's Haunt*. Cambridge, Massachusetts: MIT Press.
- Wigley, M. 2001. *Network Fever*. *Grey Room No4*, MIT Press Journal. pp.82–122.
- Wigley, M. 2012. *Architecture of Deconstruction*. (conversation) Personal communication, 28 October 2012.
- Wittkower, R. 1971. *Architectural Principles in the Age of Humanism*. New York: Norton W. W. and Company Inc.
- Web page without author info. *Eva Hesse Estate*. (online) Available at: <<http://evahesseestate.com/>> (Accessed 15 September 2009).
- Web page without author info. *Fundacion Gego*. (online) Available at: <<http://www.fundaciongego.com/English/eventos.html>> (Accessed 15 September 2009).
- Web page without author info. *Whitney Museum of American Art*. (online) Available at: <<http://whitney.org/Collection/EvaHesse/8817ab>> (Accessed 15 September 2009).
- Weber, B. 1990. *Learning From the Full-Scale Laboratory*. *European Full-Scale Modeling Association*. 3rd Conference, Lund (Sweden) 13-16 September. pp.12-19.
- Weinstock, M. 2006. *Self-organization and material constructions*. In: M. Hansel, A. Menges and M. Weinstock., eds. 2006. *Techniques and technologies in Morphogenetic Design*. *Architectural Design Volume 76(2)*. London: Wiley Academy. pp.34–41.

- Weinstock, M. 2008. *Metabolism and Morphology*. In: M. Hansel and A. Menges eds. *Versatility and Vicissitude: Performance in Morpho-Ecological Design*. Architectural Design Volume 78(2). London: Wiley Academy. pp.26–33.
- Weinstock, M. 2010. *The Architecture of Emergence: the Evolution of Form in Nature and Civilization*. London: Wiley Academy.
- Woodbury, R. 2010. *Elements of Parametric Design*. London: Rutledge.
- Zaera-Polo, A. 2009. *Between Ideas and Matters: Icons, Indexes, Diagrams, Drawings and Graphs*. In: M. Garcia, ed. 2010. *The Diagrams of Architecture*. London: John Wiley and Sons. pp.237-43.
- de Zegher, C. 2006. *Eva Hesse Drawing*. New Haven, Connecticut: Yale University Press.

## ЛИСТА ИЛУСТРАЦИЈА

- Слика 1.5.1.1 Аналогни модел Цркве Guell, Antonio Gaudi 1898-1908 (Huerta, 2006)
- Слика 1.5.1.2 Паралелни приказ фотографија модела и цртежа Цркве Guell, Antonio Gaudi 1898-1908 (Huerta, 2006)
- Слика 1.5.2.1 Машина за производњу и геометријску дефиницију мембрана од сапунске пене на Институту за лаке конструкције у Штутгарту (*Otto, Rasch, 1996*)
- Слика 1.5.2.2 Систем минималних путања утврђен на основу физичког модела, Frei Otto 1962 (Barthel, 2005)
- Слика 1.5.3.1 Механизам који контролише понашање два градивна материјала, платна и гипса. Прототипски модел „Wall P“, Andrew Kudless 2006-09. Кадар из филма у продукцији SFMoMA 2009. поводом изложбе „*Sensate Bodies and Design*“.
- Слика 1.5.3.2 Уклањање флексибилне оплате. Прототипски модел „Wall P“, Andrew Kudless 2006-09. Кадар из филма у продукцији SFMoMA 2009. поводом изложбе „*Sensate Bodies and Design*“.
- Слика 3.2.1 Прототипски модел „n|Edge“, Marc Fornes 2009, Фото Francois Laugnie (Fornes, 2009).
- Слика 3.2.1.2 Прототипски модел „n|Strip“, Marc Fornes 2010. Фото Francois Laugnie (Fornes, 2010).
- Слика 3.2.2.1 Прототипски модел „Y/surf/struc“, Marc Fornes 2011. Фото Brice Pelleschi (Fornes, 2011).
- Слика 3.2.2.2 Прототипски модел „nonLin/Lin“, Marc Fornes 2011. Фото Francois Laugnie (Fornes, 2011).
- Слика 4.1.2 Цртеж конструктивног система без спојева. Konrad Wachsmann 1952.
- Слика 4.2.0.1 Дијаграм пешачког кретања за пројекат Arnhem Central, UN Studio 1996 (van Berkel and Bos, 1999).
- Слика 4.2.0.2 Аксијалана мапа Лондона, Space Syntax 1995 (Hillier 1996).
- Слика 4.2.1 „*Reticulárea*“, Музеј визуелних уметности у Каракасу. Gertrud Goldschmidt Gego 1980. (Fundacion Gego 2009).
- Слика 4.2.2 „*Rope*“, Eva Hese 1970. (Whitney Museum of American Art, 2009).
- Слика 4.2.3 Mira Schnadel са радом из серије „*Drouginhas*“. Фото Clay Perry 1966. (МОМА, 2009).
- Слика 4.5.1 Модели настали током пројектантске радионице у оквиру наставног рада на Архитектонском факултету у Београду, 2007. године. Студенти: Дончевски Бојана, Грбић Милош, Грујић Јелена, Јовановић Дамјан, Кесић Јелена, Крупез Јелена, Лукић Вук, Мијатовић Александар, Милановић Славко, Поповић Александар, Тодоровић Мирјана, Узуновић Мирјана, Вучић Јелена, Здравковић Бојана, Чизмовић Миљан. Доцент Ђорђе Стојановић.
- Слика 4.5.2 Модели настали током пројектантске радионице у оквиру наставног рада на Архитектонском факултету у Београду, 2008. године. Студенти: Башић Милана, Вавић Ива, Вујовић Вишња, Јанковић Ивана, Кушић Александар, Лапчевић Тијана, Марковић Предраг, Петрушевски Ивана, Пешић Младен, Радосављевић Димитрије, Ранчић Јелена, Симић Маријана, Смиљанић Петар, Церовић Милутин. Доцент Ђорђе Стојановић.
- Слика 4.5.3 Модели настали током пројектантске радионице у оквиру наставног рада на Архитектонском факултету у Београду, 2009. године. Студенти: Арсеновић

Мирјана, Дамјановић Ивана, Лојаница Биљана, Максић Горан, Максимовић Урош, Милетић Димитрије, Роксандић Данијела, Салапура Марко, Самарџија Милица, Спасојевић Александар, Стевановић Небојша, Стевовић Владан, Вуковић Марко, Зрилић Бојана, Живковић Милош. Доцент Ђорђе Стојановић.

- Слика 5.1.1 Модел из серије *Недоследности в.01*, октобар 2010, Архитектонски факултет у Београду. Студент Бојана Гочанин, доцент Ђорђе Стојановић, асистент Милутин Церовић.
- Слика 5.1.2 Модел из серије *Недоследности в.01*, октобар 2010, Архитектонски факултет у Београду. Студент Милица Тасић, доцент Ђорђе Стојановић, асистент Милутин Церовић.
- Слика 5.2.1 Тестирање модела из серије *Недоследности в.02*, јул 2011, Универзитет у Техерану. Студенти: Abolhassan Karimi, Amir Reza Esfahuodi, Imman Shameli, Mohammad Savadkuhi, доцент Ђорђе Стојановић.
- Слика 5.2.2. Тестирање модела из серије *Недоследности в.02*, јул 2011, Универзитет у Техерану, програм Архитектонске Асоцијације. Студенти: Abolhassan Karimi, Amir Reza Esfahuodi, Imman Shameli, Mohammad Savadkuhi, доцент Ђорђе Стојановић.
- Слика 5.2.3 Конструкција модела из серије *Недоследности в.02*, јул 2011, Универзитет у Техерану, програм Архитектонске Асоцијације. Студенти: Abolhassan Karimi, Amir Reza Esfahuodi, Imman Shameli, Mohammad Savadkuhi, доцент Ђорђе Стојановић.
- Слика 5.2.4. Модел из серије *Недоследности в.02*, јул 2011, Универзитет у Техерану, Гостујући програм Архитектонске Асоцијације из Лондона. Студенти Shaghayegh Taheri и Parisa Hassanzadegan, доцент Ђорђе Стојановић.
- Слика 5.2.5 Модел из серије *Недоследности в.02*, јул 2011, Универзитет у Техерану, Гостујући програм Архитектонске Асоцијације из Лондона. Студенти Arefeh Fathi, Smaneh Ghasemrou, Sepideh Monkhtari и Sajedeh Madani. доцент Ђорђе Стојановић.
- Слика 5.3.1 Испитивање еластичности материјала.
- Слика 5.3.2 Шема иницијалних и емергентних правила раста структуре од еластомера.
- Слика 5.3.4 Модел *Недоследности в.03*, октобар 2011, Галерија Оzone, Београд. Фото Ана Костић.
- Слика 5.3.5 Детаљ модела *Недоследности в.03*, октобар 2011, Галерија Оzone, Београд. Фото Ана Костић.
- Слика 5.3.6 Конструкција модела *Недоследности в.03*, октобар 2011, Галерија Оzone, Београд. Фото Ана Костић. Сарадници: Милутин Церовић, Милица Тасић. Студенти: Ивана Радовић, Катарина Мерћеп, Марија Поп-Митић, Данка Сијерковић, Јован Пуцаревић, Деа Колачек, Милош Симић, Емилија Златковић, Милан Катић, Душан Тасић, Соња Елаковић, Ана Тодосијевић, Марко Вукајловић.
- Слика 5.4.1 Првобитна локација у Савамали. Фото Милица Тасић.
- Слика 5.4.2 Првобитна конфигурација рачунарског модела са апроксимативним приказом потребног материјала.
- Слика 5.4.3 Детаљ модела *Недоследности в.04*, јун 2012, Анекс Куле Небојша, Београд. Фото Ана Костић.
- Слика 5.4.4 Интерфејс за параметарску контролу карактеристика материјала у *Rhinoceros* окружењу.
- Слика 5.4.5 Рачунарска апликација за дводимензионално моделовање структура од еластичног материјала.



- Слика 5.4.6 Наменски сет команди у *Rhinoceros* окружењу са командама за моделовање просторних структура од еластичних материјала.
- Слика 5.4.7 Модел *Недоследности в.04*, јун 2012, Анекс Куле Небојша, Београд.  
*Сарадници: Милутин Церковић, Милан Катић и Милица Тасић. Програмирање: Бојан Митровић - група за математику, архитектонску геометрију и рачунарски засновано пројектовање (СААД) на Архитектонском Факултету Универзитета у Београду. Студенти: Никола Милановић, Ивана Радовић, Катарина Мерћеп, Марија Поп-Митић, Данка Сијерковић, Јован Пуцаревић, Деа Колачек, Милош Симић, Емилија Златковић, Душан Тасић, Ана Тодосијевић, Марко Вукајловић и Невена Бјелаковић.*
- Слика 5.4.8 Модел *Недоследности в.04*, јун 2012, Анекс Куле Небојша, Београд. Фото Ана Костић.
- Слика 5.4.9 Модел *Недоследности в.04*, јун 2012, Анекс Куле Небојша, Београд. Фото Ана Костић.
- Слика 5.4.10 Модел *Недоследности в.04*, Јун 2012, Анекс Куле Небојша, Београд. Фото Ана Костић.
- Слика 5.4.11 Поређење дигиталног и физичког модела.
- Слика 5.4.12 Рачунарски модел – први ступањ упоредне анализе са физичким моделом. *Недоследности в.04*, Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.
- Слика 5.4.13 Физички модел - први ступањ упоредне анализе са рачунарским моделом *Недоследности в.04*, 13:37h, 6. Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.
- Слика 5.4.14 Рачунарски модел – други ступањ упоредне анализе са физичким моделом. *Недоследности в.04*, Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.
- Слика 5.4.15 Физички модел - други ступањ упоредне анализе са рачунарским моделом. *Недоследности в.04*, 10:08h, 7. Јун 2012, Анекс Куле Небојша, Београд.
- Слика 5.4.16 Рачунарски модел – трећи ступањ упоредне анализе са физичким моделом. *Недоследности в.04*, Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.
- Слика 5.4.17 Физички модел - трећи ступањ упоредне анализе са рачунарским моделом. *Недоследности в.04*, 10:57h, 7. Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.
- Слика 5.4.18 Рачунарски модел – четврти ступањ упоредне анализе са физичким моделом. *Недоследности в.04*, Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.
- Слика 5.4.19 Физички модел - четврти ступањ упоредне анализе са рачунарским моделом. *Недоследности в.04*, 6. Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.
- Слика 5.4.20 Рачунарски модел – пети ступањ упоредне анализе са физичким моделом. *Недоследности в.04*, Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд
- Слика 5.4.21 Физички модел - пети ступањ упоредне анализе са рачунарским моделом. *Недоследности в.04*, 12:02h, 7. Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд
- Слика 5.4.22 Рачунарски модел – шести ступањ упоредне анализе са физичким моделом. *Недоследности в.04*, Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.
- Слика 5.4.23 Физички модел – шести ступањ упоредне анализе са рачунарским моделом. *Недоследности в.04*, 12:24h, 7. Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.
- Слика 5.4.24 Рачунарски модел – седми ступањ упоредне анализе са физичким моделом. *Недоследности в.04*, Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.
- Слика 5.4.25 Физички модел - седми ступањ упоредне анализе са рачунарским моделом. *Недоследности в.04*, 15:46h, 7. Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд



Београд.

Слика 5.4.46 Рачунарски модел – једанаести ступањ упоредне анализе са физичким моделом. *Недоследности в.04*, Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.

Слика 5.4.47 Физички модел - осамнаести ступањ упоредне анализе са рачунарским моделом. *Недоследности в.04*, 09:44h, 10. Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.

Слика 5.4.48 Рачунарски модел – деветнаести ступањ упоредне анализе са физичким моделом. *Недоследности в.04*, Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.

Слика 5.4.49 Физички модел - деветнаест ступањ упоредне анализе са рачунарским моделом. *Недоследности в.04*, 11:19h, 10. Јун 2012. године, Анекс Куле Небојша, Београд.

Слика 6.2.1 Пројектантска радионица *Недоследности в.01*, октобар 2010, Архитектонски факултет у Београду. Студент Бојана Гочанин, доцент Ђорђе Стојановић, сарадник Милутин Церовић.

Слика 6.2.2 Пројектантска радионица *Недоследности в.02*, јул 2011, Универзитет у Техерану, Гостујући програм Архитектонске Асоцијације из Лондона. Студенти Shaghayegh Taheri и Parisa Hassanzadegan, доцент Ђорђе Стојановић, сарадник Mariam Pousti.

Слика 6.2.3 Модел *Недоследности в.03*, октобар 2011, Галерија ОЗоне, Београд. Фото Ана Костић.

Слика 6.2.4 Модел *Недоследности в.04*, јун 2012, Анекс Куле Небојша, Београд. Фото Ана Костић.

## **Биографија аутора**

Ђорђе Стојановић, дипл. инж. арх., рођен је 1974. године у Београду. Основну школу је завршио у Београду, а средњу у САД. Дипломирао је на Архитектонском факултету у Београду 1998. године, са оценом 10 (десет) на дипломском раду и просечном оценом 8.06 (осам и 6/100) током студија, и тиме стекао назив дипломираног инжењера архитектуре. Завршио је последипломске академске студије на школи за архитектуру Architectural Association у Лондону 2000. године, курс Design Research Lab, и тиме стекао назив Master of Architecture and Urbanism. Завршио је последипломске академске студије на универзитету London School of Economics 2003. године, курс City Design, и тиме стекао назив Master of Science. Универзитет у Београду одлуком 06-613-2123/5-09 од 4. фебруара 2010. године, признао је ову диплому као диплому магистарских студија са звањем Магистар техничких наука у области архитектуре и урбанизма. Стручни испит RIBA III, прописан за архитектонску лиценцу у Великој Британији положио је 2001. године.

Ђорђе Стојановић је запослен на Архитектонском факултету у Београду од 2007. године, на Департману за Архитектуру. У периоду од 2007-08 ангажован у звању гостујућег професора, а од 2008. године у звању доцента. У настави на мастер академским студијама учествовао је на предметима: Студио пројекат М4.1 и М5.А1, Семинар М5.А2, Мастер пројекат М9, Савремене технологије у пројектовању и грађењу М3.1 и Пројектантска радионица М7.1 и М7.2. У настави на основним академским студијама учествује на предметима Простор и облик М2.1 и Елементи пројектовања М2.4. Од 2009. године обавља дужност руководиоца већа дипломских-мастер студија. Током 2008. године је био запослен као гостујући предавач на Либанско-америчком Универзитету у Бејруту. У периоду од 2002. до 2007. године гостује у настави на дипломским и основним студијама на школи Architectural Association у Лондону. Током 2011. године ангажован је на наставом програму Архитектонске асоцијације из Лондона, који се одржава на Универзитету у Техерану у Ирану и Музеју визуелних уметности у Паризу.

Ђорђе Стојановић је основао пројектантски студио 4од7 Архитектура у Београду 2007. године, и аутор је изведених пројеката за адаптацију и пренамену објекта Дунавски цвет у Београду и стамбени објекат на Копаонику.

У периоду од 2005. до 2007. године је запослен као директор у компанији *AKT Structural and Civil Engineers* у Лондону, одговоран за рад групе архитеката и програмера. Координише размену података између грађевинских инжењера и архитеката на изведеним пројектима: Уметничка галерија *Colchester* у сарадњи са *Vignoly Architects*, Пословна зграда *Monsoon HQ* у Лондону у сарадњи са *AHMM Architects*, Угоститељски објекат *Littlehampton Café* у сарадњи са *Thomas Heatherwick Studio*, и Биоскоп *West Shires* у сарадњи са *Foreign Office Architects*. Такође учествује на пројектима: Пословна зграда *Elizabeth House* у Лондону у сарадњи са *Foreign Office Architects*, Пешачки мост за пословна зграду *Land Securities* у Лондону у сарадњи са *Future Systems*, Пословна зграда *Bucklersbury House* у Лондону у сарадњи са *Ateliers Jean Nouvel*, Културни центар *Bankside Pavilion* у Лондону у сарадњи са *Zaha Hadid Architects*, и Комерцијални објекат *Park House* у Лондону у сарадњи са *Hamilton Associates*.

У периоду од 2003. до 2005. године радио је у компанији *Ove Arup* као пројектант у звању *Senior Architect* у оквиру групе *Advanced Geometry Unit* коју води *Cecil Balmond* и учествује на пројектима: Гаража *Battersea* у Лондону, Урбанистичко-архитектонски план за област *Battersea* у Лондону.

У периоду од 2002. до 2003. године радио је у компанији *Ron Arad Associates* као пројектант и учествује на реализованом пројекту за Ентеријер хотела *Puerto America* у Мадриду. Такође учествује на пројектима: Стамбени објекат *Vallarta Towers* у Гуадалахари, и Модуларни продајни простор за *Thierry Mugler* у Паризу.

У периоду од 2000. до 2002. године радио је у компанији *Zaha Hadid Architects* као пројектант и учествује на реализованим пројектима: Пословна зграда *BMW Plant* у Лајпцигу, и јавни простор *Lounge Kunstmuseum* у Волфсбургу. Такође учествује на пројектима: Национална Библиотека у Монреалу, Ентеријер за продајни простор *Mandarina Duck Flagship Store* у Лондону, Истраживачки центар *Queen Mary and Westfield College* у Лондону, и Урбанистички план за област *Northoff* у Волфсбургу.

Током 1999. године радио је у компанији *Arcquitectura Global Office* у Лисабону као стажиста на пројектима: Стамбени објекат *Moradia u Aroeiri*, Ватрогасна станица *Macedo de Cavaleiros*, и Ватрогасна станица *Senhora da Hora*.

### **Библиографија аутора**

*Stojanovic, Dj. 2013. Self-regulating Fields and Networks: Elasticity in material performance and spatial organization.* In: S. Sariyildiz and R. Stouffs eds. *Computation and Performance. Proceedings of the Association for Education and research in Computer Aided Architectural Design in Europe eCAADe.* Delft University of Technology. Delft, September 18-20, 2013.

*Stojanovic, Dj. 2013. The Promise of Performative: Relational, Genetic and Scripted Models in Architectural Design.* *Facta Universitatis Series Architecture and Civil Engineering*, Volume 11(1), 2013.

*Stojanovic, Dj. 2012. Explicating Intuition: Iterative Modelling of Elastomer Assemblies.* In: M. Voyatzaki and C. Spiridonis eds. *Scaleless Seamless: Performing a less fragmented architecture education and practice.* *Proceedings of the ENHSA EAAE International Conference.* Muenster 15-18 November 2012. pp.379-92.

*Stojanovic, Dj. 2012. Prototypical architecture: Design research method with full-scale models.* In: T. Fisher, K. De Biswas, et al eds. *Beyond Codes and Pixels.* *Proceedings of the 17th International Conference on Computer Aided Architectural Design Research in Asia.* Chennai, India 25-28 April 2012. pp.689-98.

*Stojanovic, Dj. and Pavlovic, V. Change of Use of the Building Danube Flower in Belgrade.* *Space Magazine* No.494, January 2009. Seoul, South Korea. pp.43-48.

Прилог 1.

## Изјава о ауторству

Потписани: Ђорђе Стојановић

број индекса \_\_\_\_\_

### Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом:

#### **Адаптивни принципи у архитектонском пројектовању**

- резултат сопственог истраживачког рада,
- да предложена дисертација у целини ни у деловима није била предложена за добијање било које дипломе према студијским програмима других високошколских установа,
- да су резултати коректно наведени и
- да нисам кршио/ла ауторска права и користио интелектуалну својину других лица.

**Потпис докторанта**

У Београду, 14. јун 2013



---

Прилог 2.

## Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора: **Ђорђе Стојановић**

Број индекса \_\_\_\_\_

Студијски програм \_\_\_\_\_

Наслов рада: **Адаптивни принципи у архитектонском пројектовању**

Ментор: **Михаило Тимотијевић Редовни професор Универзитета у Београду,  
Архитектонског факултета**

Потписани: Ђорђе Стојановић

Изјављујем да је штампана верзија мог докторског рада истоветна електронској верзији коју сам предао/ла за објављивање на порталу **Дигиталног репозиторијума Универзитета у Београду**.

Дозвољавам да се објаве моји лични подаци везани за добијање академског звања доктора наука, као што су име и презиме, година и место рођења и датум одбране рада.

Ови лични подаци могу се објавити на мрежним страницама дигиталне библиотеке, у електронском каталогу и у публикацијама Универзитета у Београду.

**Потпис докторанта**

У Београду, 14. јун 2013



---



Прилог 3.

## Изјава о коришћењу

Овлашћујем Универзитетску библиотеку „Светозар Марковић“ да у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду унесе моју докторску дисертацију под насловом:

### **Адаптивни принципи у архитектонском пројектовању**

која је моје ауторско дело.

Дисертацију са свим прилозима предао/ла сам у електронском формату погодном за трајно архивирање.

Моју докторску дисертацију похрањену у Дигитални репозиторијум Универзитета у Београду могу да користе сви који поштују одредбе садржане у одабраном типу лиценце Креативне заједнице (Creative Commons) за коју сам се одлучио/ла.

Ауторство – некомерцијално – без прераде.

У Београду, 14. јун 2013

**Потпис докторанта**



---