

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ  
АРХИТЕКТОНСКИ ФАКУЛТЕТ

Мр Александра С. Ненадовић

ИНТЕГРИСАНО ПРОЈЕКТОВАЊЕ  
КОНСТРУКТИВНИХ СИСТЕМА  
ЗАСНОВАНИХ НА ПРИМЕНИ ФЕРОЦЕМЕНТА

Докторска дисертација

Београд, 2014.

UNIVERSITY OF BELGRADE  
FACULTY OF ARCHITECTURE

M.Sc. Aleksandra S. Nenadović

INTEGRATED DESIGN  
OF STRUCTURAL SYSTEMS  
BASED ON THE APPLICATION OF FERROCEMENT

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2014.

Ментор:

Др Милан Глишић

редовни професор Универзитета у Београду - Архитектонског факултета

ЧЛАНОВИ КОМИСИЈЕ:

Др Ненад Шекуларац, председник

ванредни професор Универзитета у Београду - Архитектонског факултета

Др Милан Глишић, ментор

редовни професор Универзитета у Београду - Архитектонског факултета

Др Драгослав Шумарац, члан

редовни професор Универзитета у Београду - Грађевинског факултета

Др Сузана Копривица, члан

редовни професор Универзитета УНИОН “Никола Тесла” – Факултета за  
градитељски менаџмент - грађевина

Датум одбране докторске дисертације:

---

Београд

# ИНТЕГРИСАНО ПРОЈЕКТОВАЊЕ КОНСТРУКТИВНИХ СИСТЕМА ЗАСНОВАНИХ НА ПРИМЕНИ ФЕРОЦЕМЕНТА

## РЕЗИМЕ

Предмет овог истраживања је анализа принципа пројектовања конструкција заснованих на примени фeroцементa у оквиру интегрисаног приступа пројектовању и вредновању остварених резултата. Предметна анализа се врши у складу са истраживачким питањем: По којим принципима треба пројектовати конструкције засноване на примени фeroцементa да би се омогућило постизање еколошког квалитета зграда који је у складу са препорукама за одрживи развој грађења? Основни циљ истраживања је успостављање теоријске основе методолошког концепта интегрисаног пројектовања конструкција, у оквиру интегрисаног приступа пројектовању и вредновању зграда, у функцији остварења еколошког квалитета зграда. Ужи циљ истраживања је успостављање теоријско-методолошке основе пројектовања и вредновања конструктивних материјала у оквиру интегрисаног приступа пројектовању зграда.

Истраживање полази од претпоставке да интегрисано пројектовање конструкција заснованих на примени фeroцементa омогућава постизање еколошког квалитета зграда који је у складу са препорукама за одрживи развој грађења, које се тичу „редуковања негативних утицаја на животну средину и потрошње ресурса услед изградње, употребе и разградње изграђених капацитета, уз истовремен пораст квалитета живота и здравља и сигурности у изграђеном окружењу“.<sup>1</sup>

У оквиру истраживања, испитивање принципа интегрисаног пројектовања конструкција у оквиру интегрисаног приступа пројектовању и вредновању зграда је примарно засновано на методолошким принципима теорије система.<sup>2</sup> Реч је о методолошком и концептуалном апарату за схватање и научно уобличавање проблема система-зграда.

У првом сегменту истраживања испитиван је појам еколошког квалитета зграде. Полазиште за истраживање овог појма је хумана екологија. За границу

---

<sup>1</sup> Working Group for Sustainable Construction, *An agenda for sustainable construction in Europe*, 11.

<sup>2</sup> Ludwig Bertalanffy, *General System theory: Foundations, Development, Application* (New York: George Braziller, 1976).

система коме се приписује еколошки квалитет је узета зграда. За временски оквир током кога се процењује еколошки квалитет зграде је узет животни циклус.<sup>3</sup> Еколошки квалитет зграде је у оквиру истраживања дефинисан као ниво до кога перформансе зграде задовољавају потребе и очекивања њених корисника, а које се односе на социјалне и економске добробити остварене уз истовремену заштиту и унапређење животне средине током животног циклуса зграде. Након критичке анализе постојећих система за процену квалитета зграда у контексту одрживости, као и анализе европских стандарда везаних за одрживу изградњу, у оквиру истраживања су предложени индикатори за интегралну процену еколошког квалитета зграде, разврстани по међусобно повезаним и условљеним критеријумима одрживости у три групе: индикатори у оквиру критеријума заштите животне средине, индикатори у оквиру критеријума социјалних добробити и индикатори у оквиру критеријума економских добробити. Индикатори еколошког квалитета зграда, поред тога што су основ за интегралну процену квалитета пројектованих решења, преко квантитативне и квалитативне процене нивоа пројектованих и постигнутих перформанси, у оквиру истраживања су узети као основ за успостављање интегрисаних пројектних циљева. Интегрисаних пројектни циљеви постају основ за анализу принципа интегрисаног пројектовања конструкција у функцији остварења еколошког квалитета зграда.

У другом сегменту истраживања испитивани су принципи пројектовања конструкција зграда у складу са интегрисаним пројектним циљевима. Првобитно је испитивано интегрисано пројектовање зграда, засновано на циљаним интегрисаним перформансама зграда током њиховог животног циклуса. Овај вид пројектовања зграда је дефинисан као пројектовање чији су исход зграде које успешно изводе своју функцију, у складу са свим аспектима одрживости: социјалним, економским и аспектима заштите животне средине. Затим су испитивани принципи пројектовања конструкције према захтевима којима треба да удовољи зграда као целина, односно пројектовање конструкције засновано на циљаним интегрисаним перформансама зграде током њеног животног циклуса. Овај вид пројектовања конструкција, дефинисан као интегрисано пројектовање конструкција, заснован је на системском приступу, у оквиру кога се конструкција зграде посматра као функционална јединица, односно као подсистем зграде, чије је понашање усмерено ка циљу

---

<sup>3</sup> European Committee for Standardization, *EN 15978:2011*.

система-зграде - еколошком квалитету. У овом процесу конструкција се не може разумети, а тиме и вредновати, без разумевања њене везе са специфичном функцијом архитектонског простора. Вреднује се допринос конструкције перформансама зграде чији је саставни део, током животног циклуса. Реч је о процесу пројектовања у коме се концепти вреднују кроз агрегацију чињеничних и вредносних судова, у складу са интегрисаним критеријумима, односно квантитативним и квалитативним индикаторима еколошког квалитета зграда. Након спознавања могућих облика повезаности и зависности подсистема зграде, конструкције и конструктивних материјала, односно понашања ових подсистема усмерених ка постизању циља система-зграде – еколошког квалитета, у оквиру истраживања су изведени критеријуми за интегрисано пројектовање и вредновање конструкција засновани на циљаним интегрисаним перформансама зграде током њеног животног циклуса, у функцији остварења еколошког квалитета зграда. Изведени критеријуми тичу се смањења штетних емисија у ваздух, воду и земљиште, као и повећања ефикасности коришћења ресурса, односно смањења интензитета њиховог коришћења, као и реализације архитектонских простора који доприносе квалитету живота људи, односно животном задовољству, кроз очување и унапређење њиховог здравља, подстицање осећаја сигурности, угодности и склада са животним окружењем.

У трећем сегменту истраживања испитивани су принципи пројектовања фeroцементa и конструкција заснованих на његовој примени, у складу са критеријумима за интегрисано пројектовање и вредновање конструкција зграда, као и еколошки ефекти примене овог композитног материјала у склопу конструкција, према критеријуму заштите животне средине током животног циклуса зграде и према критеријуму социјалних добробити током фазе употребе зграде. Feroцемент, као композитни материјал, је разматран као подсистем конструкције зграде. Његово пројектовање је анализирано кроз односе и везе са подсистемом вишег реда-конструкцијом зграде и системом-зградом, као и кроз његово понашање усмерено ка постизању циља система-зграде - еколошког квалитета. Истраживањем су продубљени и проширени пројектантски „алати за дефинисање својстава и коришћење фeroцементa“.<sup>4</sup> Створена је сазнајна основа пројектовања и вредновања

---

<sup>4</sup> Komisija za standarde iz oblasti Betonskih konstrukcija, *Tehnička preporuka za ferocement*, 2.

фероцемента и конструкција заснованих на његовој примени, у оквиру интегрисаног приступа пројектовању зграда.

Истраживањем је проверена и потврђена полазна хипотеза по којој интегрисано пројектовање конструкција заснованих на примени фероцемента омогућава постизање еколошког квалитета зграда који је у складу са препорукама за одрживи развој грађења. Истраживање је показало да нови “услови” пројектовања зграда, који према Закону о планирању и изградњи Републике Србије треба да „обезбеде одрживу градњу“ ("Сл. гласник РС", бр. 72/2009, 81/2009 - испр., 64/2010 - одлука УС, 24/2011, 121/2012, 42/2013 - одлука УС и 50/2013 - одлука УС, члан 2), пре свега треба да се заснивају на интеграцији пројектних циљева, као и на интегралној процени квалитета пројектованих решења током животног циклуса, у складу са квантитативним и квалитативним индикаторима еколошког квалитета зграда. Пројектовање еколошки прихватљивих решења треба да буде засновано на стратегијама истраживања које прелазе границе дисциплина, како би се могли спознати односи и везе између подсистема зграде, конструкције и конструктивних материјала, као и како би могло бити спознато понашање ових подсистема усмерено ка постизању циља система-зграде - еколошког квалитета. У питању је системски приступ који за свој резултат у практичној операционализацији има конципирање система-зграда различитих односа и веза између подсистема, конструкције и конструктивних материјала, односно конципирање зграда различитих квантитативних и квалитативних својства, са једним заједничким вишим својством – еколошким квалитетом.

Кључне речи:

одржива изградња, еколошки квалитет зграде, интегрисано пројектовање зграда, интегрисано пројектовање конструкција, фероцемент

Научна област: АРХИТЕКТУРА И УРБАНИЗАМ

Ужа научна област: АРХИТЕКТОНСКО КОНСТРУКТЕРСТВО

УДК: 624:502:691.328(043.3)

# **INTEGRATED DESIGN OF STRUCTURAL SYSTEMS BASED ON APPLICATION OF FERROCEMENT**

## **SUMMARY**

The subject of this research is to analyse the principles of structural design based on the application of ferrocement within an integrated approach to the design, and evaluation of the achieved results. The analysis concerned is performed according to the research question: What principles should be applied to design the structures based on the application of ferrocement, to enable the achievement of ecological quality of buildings, in line with recommendations for sustainable building development? The main goal of this research is to establish the theoretical basis of the methodological concept of integrated structural design, within an integrated approach to the design and evaluation of buildings for the purpose of achieving ecological quality of buildings. The specific objective of the research is to establish a theoretical and methodological basis of the design and evaluation of construction materials in the framework of an integrated approach to building design.

The study assumes that the integrated structural design based on the application of ferrocement enables achieving ecological quality of buildings, which is in line with recommendations for sustainable building development, related to the "reduction of negative environmental impact and resource consumption due to construction, use and dismantling of constructed facilities, with a simultaneous increase in life quality of and health and safety in the built environment".<sup>5</sup>

Examining the principles of integrated structural design within an integrated approach to the design and evaluation of buildings, in this research is primarily based on the methodological principles of the system theory.<sup>6</sup> This is the methodological and conceptual apparatus for understanding and scientific shaping of the problem of system-buildings.

The first segment of the research examined the concept of the ecological quality of a building. The starting point to explore this concept is the human ecology. A building is taken as a boundary of system which the ecological quality is attributed to. A life-cycle is

---

<sup>5</sup> Working Group for Sustainable Construction, *An agenda for sustainable construction in Europe*, 11.

<sup>6</sup> Ludwig Bertalanffy, *General System theory: Foundations, Development, Application* (New York: George Braziller, 1976).



taken as the time frame during which the ecological quality of the building is assessed.<sup>7</sup> The ecological quality of the building within this research was defined as the extent to which performances of the building meet the needs and expectations of its users, which are related to the social and economic benefits achieved with simultaneous protection and improvement of the environment throughout the life-cycle of the building. After a critical analysis of the existing systems to assess the quality of buildings in the context of sustainability, as well as analysis of European Standards for Sustainable Construction, indicators for the integral assessment of ecological quality of buildings were proposed within the research, classified by the interrelated and conditioned sustainability criteria into three groups: indicators within the environmental criteria, indicators within the criteria of social well-being, and indicators within the criteria of economic well-being. Indicators of ecological quality of building, in addition to being the basis for an integrated assessment of the quality of the designed solution, through quantitative and qualitative assessment of the level of designed and achieved performances, within the research were taken as the basis for establishment of integrated project objectives. Integrated project objectives have become the basis for the analysis of integrated structural design principles for the purpose of achieving ecological quality of buildings.

In the second segment of the research, the principles of design of building structures were examined in accordance with the integrated project objectives. Originally, the integrated design of buildings was studied, based on targeted integrated performances of buildings during their life-cycle. This form of building design is defined as a design which results in buildings that successfully carry out their function, in accordance with all aspects of sustainability: social, economic and environmental aspects. Then the principles of structural design were examined according to requirements to be satisfied by a building as a whole, that is, structural design based on targeted integrated performances of a building throughout its life-cycle. This type of structural design, defined as the integrated structural design, is based on a systemic approach, in which the structure of the building is seen as a functional unit, i.e., as a sub-system of the building, whose behavior is directed towards the aim of system-building – ecological quality. In this process, a structure cannot be understood, and thus evaluated, without understanding its relationship with the specific function of architectural space. The evaluation is made of the contribution of a structure to

---

<sup>7</sup> European Committee for Standardization, *EN 15978:2011*.

performances of the building which is its integral part, throughout the life-cycle. It is a design process in which concepts are evaluated through aggregation of fact and value judgments in accordance with the integrated criteria, that is, quantitative and qualitative indicators of ecological quality of buildings. After comprehending the possible forms of connection and dependency of sub-systems of a building, building structure and construction materials, as well as the behavior of these sub-systems directed towards achieving the goal of the system-building – ecological quality, criteria for the integrated design and assessment of structures based on targeted integrated performances of a building during its life-cycle were derived within the research, for the purpose of achieving ecological quality of buildings. The derived criteria are related to the reduction of harmful emissions into the air, water and soil, as well as to the increase of the resources use efficiency, i.e., reduction of the intensity of their use, as well as to the realization of architectural spaces that contribute to the quality of people's lives and life satisfaction, through preservation and improvement of their health, incitement of the sense of security, amenity and harmony with the environment.

In the third segment of the research, the principles of ferrocement design and structures based on its application were studied, in accordance with the criteria for integrated design and assessment of building structures, as well as the ecological effects of the application of this composite material within structures, in accordance with the criteria for the environmental protection during the life cycle of building and in accordance with the criteria for the social well-being during the use phase of a building. Ferrocement, as a composite material, was considered as a subsystem of the building structure. Its design was analyzed through relations and links with the subsystem of a higher order – structure of the building and system-building, as well as through its behavior directed towards achieving the aim of system-building – ecological quality. With this one research, the designers "tools for defining the properties and use of ferrocement"<sup>8</sup> were further developed and expanded. A cognitive basis of the design and evaluation of ferrocement and structures based on its application was created, within the integrated approach to the design of buildings.

The research tested and confirmed the initial hypothesis according to which the integrated design of structural systems based on the application of ferrocement enables achieving ecological quality of buildings, which is in line with recommendations for

---

<sup>8</sup> Komisija za standarde iz oblasti Betonskih konstrukcija, *Tehnička preporuka za ferrocement*, 2.

sustainable building development. The research has shown that new "conditions" of building design, which should "ensure sustainable building" according to the Law on Planning and Construction of the Republic of Serbia ("Official Gazette of the Republic of Serbia", no. 72/2009, 81/2009 - rev., 64/2010 – Constitutional Court Decision, 24/2011, 121/2012, 42/2013 – Constitutional Court Decision and 50/2013 – Constitutional Court Decision, clause 2), above all, should be based on the integration of project objectives, as well as integral quality assessment of the designed solutions throughout the life-cycle, in accordance with the quantitative and qualitative indicators of ecological quality of buildings. Designing ecologically acceptable solutions should be based on research strategies that transcend disciplinary boundaries, in order to comprehend the relations and connections between the sub-systems of the building, building structure and construction materials, as well as the behavior of these sub-systems directed towards achieving the goal of the system-building – ecological quality. This is a systemic approach whose result, in its practical operationalization, is conception of system-buildings of different relationships and connections between sub-systems, building structure and construction materials, that is, conception of buildings of various quantitative and qualitative properties, with a higher common property – ecological quality.

Key words:

sustainable building, ecological quality of buildings, integrated building design, integrated structural design, ferrocement

Scientific field: ARCHITECTURE AND URBANISM

Specific Scientific Field: ARCHITECTURAL STRUCTURAL ENGINEERING

UDK: 624:502:691.328(043.3)

# ИНТЕГРИСАНО ПРОЈЕКТОВАЊЕ КОНСТРУКТИВНИХ СИСТЕМА ЗАСНОВАНИХ НА ПРИМЕНИ ФЕРОЦЕМЕНТА

## САДРЖАЈ

УВОД.....	1
Уводне напомене о предмету истраживања.....	1
Проблем и предмет истраживања.....	1
Циљ и задаци истраживања.....	9
Хипотеза у истраживању.....	10
Научне методе истраживања.....	10
Научна оправданост дисертације, очекивани резултати и практична примена резултата.....	13
<b>ИСПИТИВАЊЕ ПОЈМА <i>ЕКОЛОШКИ КВАЛИТЕТ ЗГРАДЕ</i>.....</b>	<b>14</b>
1.1 Одрживи развој грађења.....	14
1.2 Еколошки квалитет зграде.....	19
1.2.1 Критеријуми за процену еколошког квалитета зграде - индикатори.....	22
1.2.1.1 Критеријум заштите животне средине током животног циклуса зграде - индикатори.....	24
1.2.1.2 Критеријум социјалних добробити за кориснике током фазе употребе зграде – индикатори.....	28
1.2.1.3 Критеријум економских добробити за кориснике током фазе употребе зграде – индикатори.....	34
1.2.1.4 Вишеструки ефекти и значај индикатора.....	40
<b>ИНТЕГРИСАНО ПРОЈЕКТОВАЊЕ КОНСТРУКЦИЈА.....</b>	<b>42</b>
2.1 Интегрисано пројектовање зграда.....	42
2.1.1 Интегрисано пројектовање конструкција.....	45

2.1.1.1	Интегрисано пројектовање конструкција засновано на критеријуму заштите животне средине током животног циклуса зграде.....	48
	Потенцијал глобалног загревања .....	48
	Потенцијал оштећења озонског омотача у стратосфери .....	50
	Потенцијал за повећање киселости.....	50
	Потенцијал еутрофикације .....	50
	Потенцијал фотохемијског формирања озона у тропосфери.....	51
	Захтев за примарном енергијом из необновљивих извора .....	51
	Захтев за укупном примарном енергијом и удео примарне енергије из обновљивих извора.....	51
	Захтев за укупном количином материјала .....	63
	Удео материјала из секундарних сировина .....	67
	Удео материјала из примарних сировина из обновљивих извора.....	71
	Удео материјала из извора којима се одговорно управља.....	71
	Одлагање отпада и удео опасног отпада .....	72
	Захтеви за свежом водом и количина отпадне воде .....	74
	Захтев за земљиштем високог бонитета.....	75
	Удео претходно коришћеног грађевинског земљишта.....	75
	Утицај на локални екосистем.....	75
2.1.1.1.1	Критеријуми за интегрисано пројектовање и вредновање конструкција зграда у оквиру критеријума заштите животне средине током животног циклуса зграде .....	77
2.1.1.2	Интегрисано пројектовање конструкција засновано на критеријуму социјалних добробити за кориснике током фазе употребе зграде.....	80
	Заштита и безбедност.....	80
	Топлотни комфор.....	87
	Квалитет унутрашњег ваздуха – ваздушни комфор.....	88

Акустички комфор .....	89
Операциони комфор.....	93
Квалитет воде .....	93
Ниво електромагнетних поља.....	94
Лака приступачност просторима зграде.....	94
Заступљеност потребних садржаја.....	94
Квалитет организације садржаја.....	95
Погодност простора за пренамену .....	97
Лакоћа одржавања зграде.....	99
Локацијски аспекти .....	111
Визуелни аспекти.....	112
Оцена од стране корисника.....	131
2.1.1.2.1 Критеријуми за интегрисано пројектовање и вредновање конструкција зграда у оквиру критеријума социјалних добробити за кориснике током фазе употребе зграде.....	134
<b>ПРОЈЕКТОВАЊЕ ФЕРОЦЕМЕНТА И КОНСТРУКЦИЈА ЗАСНОВАНИХ НА ЊЕГОВОЈ ПРИМЕНИ У СКЛАДУ СА КРИТЕРИЈУМИМА ЗА ИНТЕГРИСАНО ПРОЈЕКТОВАЊЕ И ВРЕДНОВАЊЕ КОНСТРУКЦИЈА ЗГРАДА.....</b>	<b>139</b>
3.1 Историја фeroцементa .....	140
3.2 Пројектовање састава фeroцементa.....	143
3.3 Извођење фeroцементних елемената и конструкција.....	151
3.4 Методе испитивања фeroцементa.....	157
Испитивање чврстоће на затезање арматурне мреже и одговора фeroцементних елемената на оптерећење затезањем.....	158
Испитивање чврстоће на притисак малтера .....	160
Испитивање чврстоће на савијање фeroцементa.....	161

3.5	Пројектовање фероцементних конструкција према критеријуму носивости..	162
	.....	162
	Носивост на затезање .....	163
	Носивост на притисак .....	170
	Носивост на савијање.....	172
	Носивост на смицање.....	177
3.6	Пројектовање фероцементних конструкција према критеријуму употребљивости.....	179
3.7	Пројектовање фероцементних конструкција према критеријуму стабилности.....	182
3.8	Нумеричка анализа механичког понашања фероцементних конструкција.....	184
	.....	184
3.9	Пројектовање фероцементних конструкција са аспекти трајности .....	188
3.10	Одржавање и санација фероцементних конструкција .....	197
3.11	Пројектовање фероцементних конструкција на дејство пожара.....	198
3.12	Видови примене фероцемента у конструкцијама зграда.....	201
3.12.1	Конструкције засноване искључиво на фероцементу као конструктивном материјалу.....	201
	Префабриковане фероцементне плоче .....	201
	Префабриковани фероцементни степеници .....	202
	Префабриковани фероцементни стубови и гредни носачи.....	203
	Префабриковани фероцементни панели .....	204
	Префабриковане фероцементне љуске .....	207
	Фероцементне љуске изведене применом арматурног система.....	212
	Фероцементне љуске изведене системом интегралне оплате.....	226
3.12.2	Конструкције засноване на садејству фероцемента и других конструктивних материјала .....	229

Конструкције засноване на садејству фeroцементa и класичног армираног бетона.....	229
Конструкције засноване на садејству фeroцементa и челика.....	234
Конструкција заснована на садејству фeroцементa и дуктилног ливеног гвожђа.....	240
Конструкције засноване на садејству фeroцементa, челика и класичног армираног бетона.....	241
3.12.3 Примена фeroцементa код ојачавања конструкција .....	244
3.13 Вредновање еколошких ефеката примене фeroцементa у оквиру конструкција зграда.....	246
3.13.1 Вредновање ефеката примене фeroцементa према критеријуму заштите животне средине током животног циклуса зграде .....	246
Штетне емисије у ваздух, воду и земљиште.....	246
Захтев за енергијом.....	247
Захтев за укупном количином материјала .....	251
Удео материјала из секундарних сировина .....	252
Удео материјала из примарних сировина из обновљивих извора....	254
Удео материјала из извора којима се одговорно управља.....	254
Одлагање отпада и удео опасног отпада .....	254
Захтеви за свежеом водом и количина отпадне воде .....	255
Утицај на локални екосистем.....	255
3.13.2 Вредновање ефеката примене фeroцементa према критеријуму социјалних добробити током фазе употребе зграде.....	256
Заштита и безбедност.....	256
Топлотни комфор.....	257
Ваздушни комфор.....	258
Акустички комфор .....	258



Ниво електромагнетних поља.....	259
Квалитет организације садржаја.....	259
Погодност простора за пренамену.....	260
Лакоћа одржавања зграде.....	260
Визуелни аспекти.....	262
<b>ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА .....</b>	<b>265</b>
<b>ЗАКЉУЧАК И ПРАВЦИ ДАЉИХ ИСТРАЖИВАЊА.....</b>	<b>286</b>

**ЛИТЕРАТУРА**

**ПОПИС СЛИКА**

**ПОПИС ТАБЕЛА**

**БИОГРАФИЈА АУТОРА**

**ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ**

**ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ  
ДОКТОРСКОГ РАДА**

**ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ**

## УВОД

### Уводне напомене о предмету истраживања

Предмет овог истраживања је анализа принципа пројектовања конструкција заснованих на примени фероцемента у оквиру интегрисаног приступа пројектовању и вредновању остварених резултата.<sup>9</sup> Предметна анализа се врши у складу са истраживачким питањем: По којим принципима треба пројектовати конструкције засноване на примени фероцемента да би се омогућило постизање еколошког квалитета зграда који је у складу са препорукама за одрживи развој грађења? У оквиру рада се првобитно анализира појам еколошког квалитета зграда и утврђују критеријуми и индикатори за његову процену. На основу утврђених квантитативних и квалитативних индикатора еколошког квалитета, који су основ интегралну процену нивоа пројектованих и постигнутих перформанси зграда, анализирају се и успостављају интегрисани пројектни циљеви. Истраживање се затим фокусира на анализу принципа пројектовања конструкција зграда у складу са постављеним интегрисаним циљевима. На основу предметне анализе утврђују се критеријуми за интегрисано пројектовање и вредновање конструкција, у функцији остварења еколошког квалитета зграда. На основу утврђених критеријума за интегрисано пројектовање и вредновање конструкција зграда, у оквиру рада се затим анализирају принципи пројектовања фероцемента и конструкција заснованих на његовој примени, као и вреднују еколошки ефекти примене овог композитног конструктивног материјала.

### Проблем и предмет истраживања

Ово истраживање започиње 2002. године, кроз научни рад под називом "Одрживи развој грађења", у оквиру пројекта из програма основних истраживања "Рedefиниција и унапређење методско моделске основе планирања, пројектовања и грађења на принципима одрживог развоја градова, насеља и региона Србије, 2002-2004. године, руководиоца проф. др Нађе Куртовић Фолић, објављен у оквиру монографије "Преиспитивање појма "одрживи развој" у планирању, пројектовању и

---

<sup>9</sup> Working Group for Sustainable Construction, *An agenda for sustainable construction in Europe*, 13.

грађењу”.<sup>10</sup> Наставак истраживања у вези са темом пројекта, спроведен је у оквиру научног рада под насловом “Грађевински материјали и производи у контексту одрживог развоја”, објављеног у монографији “Принципи одрживог развоја”.<sup>11</sup> Наведени пројекат, као и у оквиру њега спроведена истраживања, били су засновани на мишљењу да се решења глобалних проблема у вези са животном средином, могу наћи само у оквиру новог става према развоју. Овај квалитативно нов начин размишљања о развоју и заштити животне средине заснива се на концепту одрживог развоја, који подразумева избалансиране циљеве друштвено-економског развоја и заштите животне средине, са тежиштем на квалитету живота. У оквиру наведених научних радова констатовано је да се, у настојању да се приближи принципима одрживости, грађевинарство суочава са изазовом здравог окружења већим него у било ком другом привредном сектору, обзиром на то да оно директно интервенише у животној средини и на бази њених ресурса. Активности везане за изграђене капацитете, током њиховог животног века, поред тога што утичу на квалитет живота људи и економију, су истовремено и најодговорније за угрожавање животне средине.<sup>12</sup> У оквиру спроведених истраживања посебна пажња била је посвећена стратегијама за подизање нивоа одрживости изградње, представљеним у “Агенди за одрживу изградњу у Европи”, из 2001. године,<sup>13</sup> коју је припремила радна група за одрживо грађење са учесницима из Европске комисије, земаља чланица ЕУ и индустрије. Основно полазиште стратегија изнетих у Агенди за одрживу изградњу у Европи, које је уједно и полазиште овог истраживања, је дефиниција одрживе изградње, дата на првој Интернационалној конференцији о одрживој изградњи, одржаној 1994. године, према којој одржива изградња представља стварање и одговорно руковођење здравим изграђеним окружењем, заснованом на ефикасном коришћењу ресурса и еколошким принципима.<sup>14</sup> Једна од кључних стратегија за подизање нивоа одрживости изградње, датих у Агенди, која је уједно и окосница овог истраживања, тиче се „редуковања негативних утицаја на животну средину и потрошње ресурса услед изградње, употребе и разградње изграђених капацитета, уз

---

<sup>10</sup> A. Nenadović i M. Nenadović, „Održivi razvoj građenja“, 143-160.

<sup>11</sup> A. Nenadović i M. Nenadović, „Građevinski materijali i proizvodi u kontekstu održivog razvoja“, 237-256.

<sup>12</sup> A. Nenadović i M. Nenadović, „Održivi razvoj građenja“, 145.

<sup>13</sup> Working Group for Sustainable Construction, *An agenda for sustainable construction in Europe*, 11.

<sup>14</sup> C. J. Kibert, Final Session, First International Conference of CIB TG 16 on Sustainable Construction.

истовремен пораст квалитета живота и здравља и сигурности у изграђеном окружењу<sup>15</sup>.

У контексту остварења основног циља наведене стратегије, односно еколошког квалитета зграда, као и у контексту сазнања стечених током наведених претходних истраживања, ово истраживање се фокусира на принципе пројектовања зграда и њихових подсистема, конструкција и конструктивних материјала. Принципи пројектовања постају посебно значајни и обзиром на нови законски оквир у области планирања и изградње у нашој земљи. Према Закону о планирању и изградњи Републике Србије ("Сл. гласник РС", бр. 72/2009, 81/2009 - испр., 64/2010 - одлука УС, 24/2011, 121/2012, 42/2013 - одлука УС и 50/2013 - одлука УС), проистеклом из Националне стратегије одрживог развоја, предвиђа се "уређење и коришћење простора засновано на начелима одрживог развоја", као и "обезбеђење одрживе градње применом техничких мера, стандарда и услова планирања, пројектовања, изградње и употребе објеката". Нови "услови" пројектовања који су окосница овог истраживања постају посебно значајни обзиром на то да је „пројектовање у основи проблема односа људи и животне средине и промене тих односа“,<sup>16</sup> посебно имајући у виду да се и до 80% утицаја створене средине на окружење одређује се у фази пројектовања.<sup>17</sup> „На много начина криза животне средине је пројектантска криза. То је последица начина на који су ствари направљене...“.<sup>18</sup>

Уређење простора засновано на начелима одрживог развоја, захтева квалитативно нов приступ пројектовању зграда, односно интегрисани приступ пројектовању, заснован на системској анализи социјалних, економских и аспеката животне средине.<sup>19</sup> У том контексту, у оквиру овог истраживања, редукционистички приступ у пројектовању и вредновању остварених резултата, који се заснива на ограниченом броју критеријума и линеарном приступу, замењује се холистичким приступом, уз прихватање комплексности архитектуре и њених система.

Кључна тема у оквиру интегрисаног приступа пројектовању зграда, која је уједно и окосница овог истраживања, је успостављање ширих и ужих пројектних

---

<sup>15</sup> Working Group for Sustainable Construction, 11.

<sup>16</sup> Blagojević i Ćirović, „Klimatske promene i estetika savremene arhitekture“, 24.

<sup>17</sup> Design Council, *Annual Review 2002*, 10.

<sup>18</sup> Van Der Ryn and Cowan, *Ecological Design*, 24.

<sup>19</sup> Birkeland, *Design for Sustainability*, 7.

подциљева у функцији остварења основног циља - еколошког квалитета зграда који је у складу са препорукама за одрживи развој грађења.<sup>20</sup> Како би се дефинисали пројектни подциљеве, у оквиру истраживања се првобитно дубље истражује појам еколошког квалитета. Полазиште за истраживање овог појма је хумана екологија, која изучава однос између човека и његовог животног окружења,<sup>21</sup> у оквиру које је кључно разматрање здравља људског екосистема, односно његове стабилности и одрживости.<sup>22</sup> Истраживање појма еколошког квалитета отвара комплексна питања која се тичу процене и оцене квалитета изграђених капацитета: Шта је тачно систем коме се приписује еколошки квалитет? Током ког времена се процењује квалитет? Шта се подразумева под еколошким квалитетом система и како се он одређује?<sup>23</sup>

Обзиром на то да је у фокусу овог истраживања пројектовање конструкција зграда, за границу система коме се приписује еколошки квалитет, у оквиру овог истраживања, се узима зграда. За временски оквир током кога се процењује еколошки квалитет зграде узима се животно циклус, имајући у виду да се утицаји зграде на животну средину јављају током фазе добијања сировина, производње и уградње материјала и производа, употребе и одржавања зграде, обнове зграде, разграђивања, односно рушења зграде, рециклирања и одлагања отпада.<sup>24</sup> Када је у питању одговор на питање “Шта се подразумева под еколошким квалитетом зграде и како се он одређује?”, у оквиру овог истраживања полази се од критичке анализе постојећих система за процену квалитета зграда у контексту одрживости, међу којима су: BREEAM, Велика Британија, 1990; HQE, Француска, 1996; LEED, САД, 1998; CASBEE, Јапан, 2002; TQB, Аустрија, 2006; DGNB, Немачка, 2007; BNB/DGNB, Немачка, 2009. Предмет анализе су и стандарди које је развио сектор CEN TC 350 - “Sustainability of Construction Works” (CEN - European Committee for Standardization), на основу захтева Европске комисије (M/350 Standardisation mandate to CEN), а који укључују општи оквир за процену одрживости зграда (EN 15643-1:2010), оквир за процену утицаја зграда на животну средину (EN 15643-2:2011), као

---

<sup>20</sup> Working Group for Sustainable Construction, *Competitiveness of the Construction Industry: An agenda for sustainable construction in Europe* (A report drawn up by the Working Group for Sustainable Construction with participants from the European Commission, Member States and Industry, Brussels, 2001).

<sup>21</sup> Machlis, Force, and Burch, „The human ecosystem part I“, 347-367.

<sup>22</sup> Haskell, Norton, and Costanza, „What is ecosystem health, and why should we worry about it?“, 3-20.

<sup>23</sup> Bell and Morse, *Sustainability Indicators*, 12.

<sup>24</sup> European Committee for Standardization, *EN 15978:2011*.

и оквир за процену социјалних перформанси (EN 15643-3:2012) и економских перформанси зграда (EN 15643-4:2012). Анализирају се и резултати истраживачких пројеката LEnSE - 2006/2007 (Sixth Framework Programme), SuPerBuildings – 2010/2012 и OPEN HOUSE - 2010/2013 (Seventh Framework Programme), које финансира Европска комисија, чији је циљ развијање јединствене методологије за интегралну процену квалитета зграда, која ће равноправно узети у обзир све три димензије одрживости, односно социјалне, економске и аспекте животне средине. Примарни циљ наведене анализе је критичко сагледавање аспеката одрживости и утврђивање критеријума и индикатора за процену еколошког квалитета зграда, односно интегрисаног енвајронменталног, социјалног и економског квалитета зграда током њиховог животног циклуса. У функцији спровођења наведеног, односно извођења кључних елемената теоријског појма - еколошки квалитет зграде, поред критичке анализе постојећих система за процену квалитета зграда у контексту одрживости, анализиран је и шири референтни оквир филозофског дискурса и дискурса теорије архитектуре, као и дискурса енвајронменталне психологије.

У постојећим системима за вредновање зграда у контексту одрживости, највећа пажња је посвећена претежно квантитативним аспектима квалитета архитектонских простора, док су аспекти квалитета из сфере визуелног недовољно обрађени, обзиром на њихову комплексност и квалитативну природу. Ипак, имајући у виду значај визуелних аспеката,<sup>25</sup> а посебно имајући у виду Аристотелово полазиште да душа никада не мисли без слике,<sup>26</sup> у оквиру овог истраживања посебна пажња је посвећена анализи аспеката квалитета архитектонских простора из сфере визуелног, уз прихватање чињенице да је визуелна перцепција најкомплекснија за разумевање, заснована на високом нивоу апстраховања и многоструко условљена.<sup>27</sup>

Индикатори еколошког квалитета зграда, односно индикатори одрживости, поред тога што су основ за интегралну процену квалитета пројектованих решења, преко квантитативне и квалитативне процене нивоа пројектованих и постигнутих перформанси, у оквиру истраживања се узимају као основ за успостављање интегрисаних пројектних циљева. Успостављени интегрисани циљеви постају основ

---

<sup>25</sup> Rudolf Arnheim, *Visual Thinking* (Los Angeles: University of California Press, 1969).

<sup>26</sup> Aristotle, *De Anima*, Translated by R. D. Hicks (Cambridge University Press, 1907).

<sup>27</sup> Marr, „A Theory for Cerebral Neocortex“, 161-234.

за анализу принципа пројектовања конструкција у функцији остварења еколошког квалитета зграда. Анализира се пројектовање конструкције према захтевима којима треба да удовољи зграда као целина, односно пројектовање конструкције засновано на циљаним интегрисаним перформансама зграде током њеног животног циклуса. Једна од кључних тема у процесу интегрисаног пројектовања зграда, односно у пројектовању заснованом на перформансама, односи се на адекватан избор и/или пројектовање материјала, као и на адекватан начин њихове примене. По Ангрисанију материјал помоћу кога је архитектонско дело направљено је сама есенција активности грађења. Пројекат долази на свет и расте са датим материјалом: материјал треба да прати пројектовање од иницијалне фазе, зато што он представља почетну тачку, пре него дестинацију техничког и формалног резоновања које води ка извођењу архитектонског дела.<sup>28</sup> У контексту наведеног, у оквиру овог истраживања, при анализи принципа пројектовања конструкција у функцији остварења еколошког квалитета зграда, посебна пажња се посвећује материјалним аспектима. Анализирају се принципи интегрисаног пројектовања конструкција заснованих на примени армираног бетона, челика, дрвета и елемената за зидање, као материјала и елемената који су у нашој земљи најчешће у употреби за израду конструкција зграда. На основу предметне анализе, утврђују се критеријуми за интегрисано пројектовање и вредновање конструкција засновано на циљаним интегрисаним перформансама зграде током њеног животног циклуса, у функцији остварења еколошког квалитета зграда.

Повод за дубљу анализу принципа интегрисаног пројектовања и вредновања конструкција заснованих на примени фeroцементa, као типа танкозидног армираног бетона, била је сарадња са Миленком Милинковићем, дипломираним електроинжењером по образовању, током рада на пројекту у области технолошког развоја „Примена резултата напредног развоја просторних структура у области 3D трансформација, конструисања, нових материјала – симпролита и технологија” (Миленко Милинковић је био партиципант на наведеном пројекту), 2008-2011. године, руководиоца проф. др Миодрага Несторовића, као и увид у његове реализације засноване на примени фeroцементa, односно увид у функционалне и обликовне могућности које нуди фeroцемент као конструктивни материјал. У оквиру

---

<sup>28</sup> Angrisani, “Space and architecture“. Quoted in Mozaikci, „Material’s Interactions with Structural Form“, 17.

овог истраживања, уже фокусирање на фeroцемент и конструкције зграда засноване на његовој примени, тиче се примарно ученог “својства” овог композитног материјала, које је можда најбоље описао Френк Лојд Рајт износећи своје виђење армираног бетона. Према Рајту реч је о материјалу који нема ничег свог, оригиналног, стога му све треба дати вештачки, из човекове маште.<sup>29</sup> Управо ово суштинско “својство” фeroцементa, које је описано и у циљу Техничке препоруке за фeroцемент, а које се тиче могућности дефинисања својстава материјала од стране пројектанта,<sup>30</sup> омогућава реализацију суштинског циља интегрисаног пројектовања, а то је пројектовање карактеристика према специфичним захтевима, односно реализација решења које произилази из њему својственог скупа параметара.

Фeroцемент није нов материјал. Материјал је 1855. године патентирао француз Ламбо и назвао га „Ferciment“. За „Ferciment“ Ламбо констатује: „Мој изум има нови производ као циљ, који служи да се замени дрво...где год постоји ризик од оштећивања влажењем.”<sup>31</sup> Има мало примера примене фeroцементa у области архитектуре све до 1942. године, када Пјер Луиђи Нерви почиње низ експеримената са овим материјалом и констатује да материјал представља „истинску револуцију са аспекта изградње и естетике”.<sup>32</sup> Током шездесетих и седамдесетих година фeroцемент улази у ширу употребу у свету. Амерички Институт за бетон 1976. године формира Комитет 549 који се бави фeroцементом као посебним материјалом и који има за циљ да установи прописе везане за примену фeroцементa. На Азијском технолошком институту 1976. године, у Банкоку на Тајланду, формира се Интернационални информациони центар за фeroцемент, који издаје часопис о фeroцементу - „Journal of ferrocement“, у оквиру кога су до данас објављени бројни научни и стручни радови везани за истраживања овог материјала. RILEM (International Union of Testing and Research Laboratories of Materials and Structures), 1979. године, формира Комитет 48-ФИЦ, како би се утврдиле методе за тестирање фeroцементa. Комитет 549 америчког Института за бетон издаје прво упутство за пројектовање, извођење и поправку фeroцементa 1988. године (ACI Committee 549, 1988). Интернационално друштво за фeroцемент (IFS) формира Комитет за

---

<sup>29</sup> Frank Lloyd Wright, „The Meaning of Materials – Concrete“, 98-104.

<sup>30</sup> Комисија за стандарде из области Бетонских конструкција, *Техничка препорука за feroceмент*, 2.

<sup>31</sup> Kind-Barkauskas et al., *Concrete construction manual*, 13.

<sup>32</sup> Nervi, *Costruzioni navali in cemento armato*. Quoted in Greco, “Ferro-cemento of Pier Luigi Nervi“, 311.



фероцемент, који 2001. године објављује правилник за фероцемент – „Ferrocement Model Code“.<sup>33</sup> Прву Техничку препоруку за фероцемент у Србији, под насловом „Фероцемент - Правила за пројектовање, извођење и одржавање“ издаје Савезни завод за стандардизацију 2002. године. Ова техничка препорука је припремљена на бази Техничког извештаја Америчког института за бетон - Guide for the Design, Construction and Repair of Ferrocement, ACI 549.1R-93. Циљ ове препоруке је да „поспешу коришћење фероцемента у изградњи објеката на копну, и да обезбеди архитекте и инжењере са неопходним „алатом“ за дефинисање својстава и коришћење фероцемента“.<sup>34</sup>

Имајући у виду посебне функционалне и обликовне могућности које нуди фероцемент као материјал, у оквиру истраживања се анализирају принципи пројектовања фероцемента и конструкција заснованих на његовој примени, у складу са утврђеним квантитативним и квалитативним критеријумима за интегрисано пројектовање и вредновање конструкција зграда. Првобитно се анализира пројектовање састава фероцемента, методе извођења и испитивања фероцементних елемената, пројектовање фероцементних конструкција према критеријумима носивости, употребљивости и стабилности, методе нумеричке анализе механичког понашања фероцементних конструкција, пројектовање фероцементних конструкција са аспекти трајности, начини одржавања и поправке фероцементних конструкција, као и пројектовање фероцементних конструкција на дејство пожара. Истраживање се затим фокусира на анализу видова досадашње примене фероцемента у склопу конструкција зграда. Разлог за предметну анализу је непостојање систематизованих знања о бројним облицима и ефектима примене фероцемента у склопу конструкција зграда, као и настојање да се кроз анализу случајева дубље размотре принципи пројектовања конструкција зграда заснованих на примени овог материјала. У том смислу, критеријум за избор појединачних случајева који се анализирају у оквиру истраживања везан је за посебност начина примене фероцемента. Након спроведених анализа, врши се вредновање еколошких ефеката примене фероцемента у оквиру конструкција зграда. Циљ наведених анализа је стварање сазнајне основе пројектовања и вредновања фероцемента и конструкција заснованих на његовој

---

<sup>33</sup> IFS Committees 10, *Ferrocement Model Code*.

<sup>34</sup> Комисија за стандарде из области Бетонских конструкција, *Техничка препорука за фероцемент*, 2.

примени, у оквиру интегрисаног приступа пројектовању зграда, у складу са истраживачким питањем: По којим принципима треба пројектовати конструкције засноване на примени фероцемента да би се омогућило постизање еколошког квалитета зграда који је у складу са препорукама за одрживи развој грађења?

### **Циљ и задаци истраживања**

Основни циљ истраживања је унапређење пројектовања конструкција, односно успостављање теоријске основе методолошког концепта интегрисаног пројектовања конструкција зграда, у оквиру интегрисаног приступа пројектовању и вредновању зграда, у функцији остварења еколошког квалитета зграда који је у складу са препорукама за одрживи развој грађења, а које се тичу ограничавања емисија загађујућих супстанци и одговорног коришћења материјалних ресурса, као и реализације архитектонских простора који доприносе квалитету живота људи. Циљ је да се, кроз научно описивање и научно објашњење, установе општи принципи пројектовања конструкција зграда у складу са интегрисаним пројектним циљевима који произилазе из индикатора еколошког квалитета зграде. Циљ је и да се наведени принципи изразе кроз критеријуме за интегрисано пројектовање и вредновање конструкција зграда, усклађене са квантитативним и квалитативним индикаторима еколошког квалитета зграде, како би се омогућила њихова примена у архитектонској пракси, у функцији развоја еколошки прихватљивих решења. Стицање дубљих и потпунијих научних знања о принципима пројектовања фероцемента и конструкција заснованих на његовој примени, у складу са критеријумима за интегрисано пројектовање и вредновање конструкција зграда, има за циљ успостављање теоријско-методолошке основе пројектовања и вредновања конструктивних материјала у оквиру интегрисаног приступа пројектовању зграда.

На основу постављених циљева истраживања произилазе следећи задаци истраживања:

- испитивање и конструисање теоријског појма - еколошки квалитет зграде
- испитивање и утврђивање критеријума за процену еколошког квалитета зграде
- испитивање и утврђивање индикатора еколошког квалитета зграде
- извођење интегрисаних пројектних циљева из индикатора еколошког квалитета зграде

- испитивање принципа пројектовања конструкција зграда у складу са интегрисаним пројектним циљевима
- извођење критеријума за интегрисано пројектовање и вредновање конструкција зграда засновано на циљаним интегрисаним перформансама зграде током њеног животног циклуса
- испитивање принципа пројектовања фeroцементa и конструкција заснованих на његовој примени, у складу са критеријумима за интегрисано пројектовање и вредновање конструкција зграда
- испитивање еколошких ефеката примене фeroцементa у склопу конструкција зграда према критеријуму заштите животне средине током животног циклуса зграде и према критеријуму социјалних добробити током фазе употребе зграде

### **Хипотеза у истраживању**

У истраживању се полази од хипотезе да интегрисано пројектовање конструкција заснованих на примени фeroцементa омогућава постизање еколошког квалитета зграда који је у складу са препорукама за одрживи развој грађења. Хипотеза је одговор на постављено истраживачко питање: По којим принципима треба пројектовати конструкције засноване на примени фeroцементa да би се омогућило постизање еколошког квалитета зграда који је у складу са препорукама за одрживи развој грађења?

### **Научне методе истраживања**

Методолошки приступ овог рада примарно је заснован је на методолошким принципима теорије система.<sup>35</sup> Реч је о методолошком и концептуалном апарату за схватање и научно уобличавање проблема целине-система, који је у случају овог истраживања зграда. Општи принципи у оквиру системског приступа, на којима се заснива и ово истраживање, су: узајамна повезаност и зависност подсистема система; понашање подсистема усмерено ка постизању циља система; посматрање подсистема у оквиру процеса функционисања целине; припадност самог система, као подсистема, систему вишег нивоа; интеракција система са окружењем. Системски

---

<sup>35</sup> Ludwig Bertalanffy, *General System theory: Foundations, Development, Application* (New York: George Braziller, 1976).

приступ подразумева интердисциплинарност, односно истовремено проучавање проблема система са становишта различитих интерактивно повезаних дисциплина, као и трансдисциплинарност, која представља стратегију истраживања које прелази границе дисциплина. У том смислу, у оквиру истраживања је примењен сложен методолошки поступак, који поред методологије основне области истраживања, архитектуре и урбанизма, укључује и методологију друштвено-хуманистичких наука као додирних области истраживања: филозофије, хумане екологије, социологије, економије и енвајронменталне психологије. Имајући у виду интегративну и генеративну природу области архитектуре и урбанизма, али и циљеве стратегије за подизање нивоа одрживости изградње, у оквиру овог истраживања ће бити примењене следеће истраживачке методе: теорија система као метода, метод критичке анализе библиографских извора, метод критичке анализе садржаја, метода класификације, метода дескрипције, метода студије случаја и метод архитектонске анализе, у складу са природом проблема, постављеним предметом, циљевима, задацима и хипотезом истраживања.

Методом критичке анализе библиографских извора и методом критичке анализе садржаја, идентификован је и одређен проблем истраживања, који се односи на глобалне проблеме у вези са животном средином и удео изградње у овим проблемима. Наведене методе су примењене и при испитивању аспеката одрживог развоја изградње, у функцији утврђивања предмета истраживања.

За испитивање и конструисање теоријског појма - еколошки квалитет зграде, поред методе критичке анализе библиографских извора и методе критичке анализе садржаја, примењена је и теорија система као метода. За испитивање и утврђивање критеријума за процену еколошког квалитета зграде, као и за идентификацију и утврђивање индикатора еколошког квалитета зграде, примењене су теорија система као метода, методе критичке анализе библиографских извора и методе критичке анализе садржаја, као и метода класификације и метода дескрипције.

За извођење интегрисаних пројектних циљева из индикатора еколошког квалитета зграде, односно за специфицирање захтева које систем-зграда треба да задовољи, примењена је теорија система као метода и у оквиру ње структурна анализа, као техника системске анализе. Структурна системска анализа, која се спроводи у оквиру овог истраживања, представља специфичну методологију развоја

зграда у оквиру системског приступа, и полазна је основа за методу структурног-интегрисаног пројектовања зграда, које се заснива на спецификацији захтева које будући систем-зграда треба да задовољи. Спецификација захтева треба да прикаже шта будућа зграда треба да „ради“ као систем, док ће се одговор на то како то треба да „ради“, односно конкретно пројектантско решење, дати за конкретно окружење, односно након дефинисања ограничења (или потенцијала) које намеће окружење у које се зграда имплементира.

У оквиру испитивања принципа пројектовања конструкције у оквиру интегрисаног приступа пројектовању зграда и вредновању остварених резултата, примењена је теорија система као метода, како би се спознали могући облици повезаности и зависности подсистема зграде, конструкције и конструктивних материјала, односно понашање ових подсистема усмерено ка постизању циља система-зграде, у функцији изучавања проблема целине-зграде, формулисане на односима између подсистема и на односима подсистема и система. У овом процесу, односи и везе између подсистема зграде, конструкције и конструктивних материјала, могу бити различити, па се променама у њима неизбежно мењају квантитативна и квалитативна својства система и подсистема. У том смислу, за разлику од редукционистичког приступа, заснованом на детерминизму, који за свој резултат у практичној операционализацији има конципирање класичних структура, конципираних на исти начин, на основу „најповољније“ комбинације веза и односа, системски приступ полази од тврдње да спознаје нису коначне, већ да су подложне оповргавању, допуњавању и мењању. У контексту наведеног, поред наведених метода, за испитивање теоријских поставки и општих методолошких концепција и пројектантских стратегија интегрисаног пројектовања конструкција, примењене су и метода критичке анализе библиографских извора и критичке анализе садржаја, метода архитектонске анализе теоријских радова у области архитектуре, као и метода архитектонске анализе реализованих објеката, односно метода студије случаја.

За извођење критеријума за интегрисано пројектовање и вредновање конструкције зграде примењена је теорија система као метода.

У оквиру испитивања принципа пројектовања фероцемента и конструкција заснованих на његовој примени, у складу са критеријумима за интегрисано пројектовање конструкција зграда, примењена је теорија система као метода, метода

критичке анализе библиографских извора, метода дескрипције, метода архитектонске анализе теоријских радова везаних за пројектовање фeroцементa и његову примену у архитектонској пракси (примарно су анализирани теоријски радови аутора чији су архитектонски објекти засновани на примени фeroцементa, са посебним освртом на исказане ауторске позиције и пројектантске ставове), као и метода архитектонске анализе реализованих објеката чије су конструкције засноване на примени овог материјала, односно метода студије случаја.

Теорија система као метода, примењена је при испитивању еколошких ефеката примене фeroцементa у склопу конструкција зграда, у складу са критеријумима за интегрисано вредновање конструкција зграда.

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

Истраживање се односи на проблематику развоја еколошки прихватљивих решења зграда, и као такво је научно и друштвено оправдано. Оправданост истраживања се односи на допринос методологији основне области истраживања - архитектуре, кроз прилог методологији пројектовања и прилог логичко-сазнајном приступу. Очекивани резултати истраживања су дубља и потпунија научна знања, која произилазе из спознавања односа и веза између подсистема зграде, конструкције и конструктивних материјала, као и из спознавања понашања ових подсистема усмереног ка постизању циља система-зграде - еколошког квалитета. Системски приступ, примењен у истраживању, за свој резултат у практичној операционализацији има конципирање система-зграда различитих односа и веза између подсистема, конструкције и конструктивних материјала, односно конципирање зграда различитих квантитативних и квалитативних својства, са једним заједничким вишим својством – еколошким квалитетом.

# ИСПИТИВАЊЕ ПОЈМА *ЕКОЛОШКИ КВАЛИТЕТ ЗГРАДЕ*

## 1.1 Одрживи развој грађења

Људске активности, засноване на употреби природних ресурса и преображавању природне у створену средину, доприносе загађивању ваздуха, воде и тла и исцрпљивању потенцијално необновљивих и необновљивих материјалних ресурса. Наведени процеси имају као даље последице климатске промене, пропадање озонског омотача, еутрофикацију, појаву киселих киша и екотоксичне ефекте. Крајња последица је нестанак многих врста и смањење продуктивности и стабилности глобалног екосистема.

Енергија постаје један од највећих проблема развоја човечанства.<sup>36</sup> Већи део производње енергије заснива се на необновљивим изворима у које се убрајају нафта, гас, угљ и нуклеарна енергија. Резерве ових извора се континуирано и све интензивније исцрпљују. Такође, највећи проценат штетних емисија које проузрокују ефекат стаклене баште (83%), последица је људских активности везаних сагоревање фосилних горива како би се добила корисна енергија.<sup>37</sup> На првој конференцији Уједињених Нација о животnoj средини, одржаној у Стокхолму 1972. године, констатовано је да су развој и животна средина нераскидиво повезани. У наредним деценијама покренут је низ истраживања чији су резултати унапредили разумевање критичних тема у вези са животном средином и утицајем људских активности на њену деградацију. На конференцији Уједињених нација о животnoj средини и развоју, одржаној 1992. у Рио де Жанеиру, реафирмисани су принципи који су били изнети на Стокхолмској конференцији. У тражењу начина да се ублаже штетни ефекти људских активности по животну средину, прихваћено је мишљење да се решења глобалних проблема у вези са животном средином, могу наћи само у оквиру новог става према развоју. Квалитативно нов начин размишљања о развоју и заштити животне средине заснива се на концепту одрживог развоја. Одрживи развој је одређен као развој који даје право на “здрав и продуктиван живот у хармонији са

---

<sup>36</sup> Учешће обновљивих извора енергије, у које спадају сунчево зрачење, геотермална енергија, вода, ветар, биомаса, дрво, енергија мора и плимских таласа и енергија плиме и осеке, на светском нивоу је само 5-6%. Србија тренутно из обновљивих извора производи 21% енергије (Министарство енергетике, развоја и заштите животне средине, 2012, 8).

<sup>37</sup> International Energy Agency, *CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion*, 7.

природом”.<sup>38</sup> Одрживи развој, који се заснива на интергенерацијској етици, подразумева избалансиране циљеве друштвено-економског развоја и заштите животне средине, са тежиштем на квалитету живота. Државе потписнице „Рио Декларације о животној средини и развоју“, међу којима је и Србија, су преузеле обавезу остваривања концепта одрживог развоја, односно смерница датих у Агенди 21 за настављање пута ка одрживом развоју и започињању значајних институционалних промена.<sup>39</sup>

Активности везане за изграђене капацитете, током њиховог животног века, које се тичу употребе природних ресурса: енергије, сировина, воде и земљишта, поред тога што утичу на квалитет живота људи и економију, су истовремено и најодговорније за угрожавање животне средине.<sup>40</sup> Грађевинске активности троше више сировина од било ког другог индустријског сектора. 50% свих материјала који се изваде из земљине коре трансформише се у грађевинске материјале и производе. Грађевински сектор, односно изградња, коришћење и рушење изграђених капацитета одговорни су за потрошњу 40-50% укупне светске потрошње енергије.<sup>41</sup> Изграђено окружење има највећи утицај на стварање ефекта стаклене баште, односно производи око 40% штетних емисија које проузрокују ефекат стаклене баште. Активности током изградње и рушења, мерено тежином, производе највећи ток отпада у Европи.<sup>42</sup> Одлагање ових отпадних материјала представља велики проблем у многим деловима Европе, како по питању цене одржавања депонија, тако и у погледу негативних последица по животну средину. Имајући у виду степен потрошње природних ресурса, производне процесе грађевинске индустрије, начин коришћења и рушења изграђених капацитета, јасне су и димензије последица по животну средину, у погледу загађења ваздуха, воде и земљишта и уништавања природних станишта.

Негативни утицаји на животну средину јављају се током животног циклуса изграђених капацитета, односно током изградње, коришћења, одржавања и поправљања, модернизовања и рехабилитовања и на крају демонтирања и поновне употребе или рушења и рециклирања или одлагања отпада. Ови утицаји су резултат

---

<sup>38</sup> United Nations, *Agenda 21*, Principle 1.

<sup>39</sup> United Nations, *Rio Declaration on Environment and Development*.

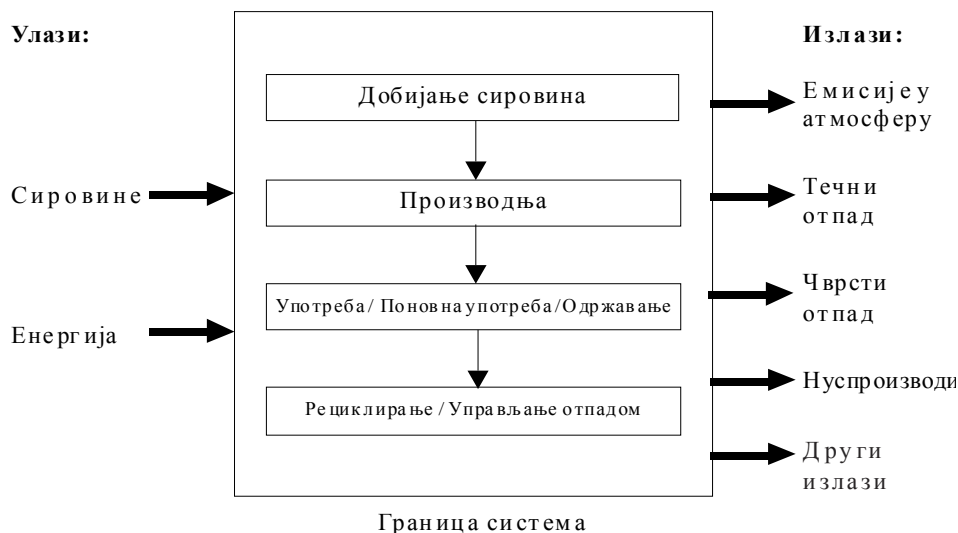
<sup>40</sup> А. Nenadović i М. Nenadović, „Održivi razvoj građenja“, 143-160.

<sup>41</sup> Процене су да ће до 2020. године зграде трошити 50% укупне енергије.

<sup>42</sup> Working Group for Sustainable Construction, 6.



потрошње ресурса и генерисања отпада и штетних емисија (Слика 1).



**Слика 1.** Улази и излази током животног циклуса изграђених капацитета. [Извор: Environmental Protection Agency, *Life Cycle Assessment: Principles and Practice* (Cincinnati, 2006), 1]

Негативни утицаји које изграђени капацитети имају на животну средину у фазама њиховог животног циклуса су многоструки. Неки од основних су дати у следећој анализи фаза животног циклуса.

#### Добијање сировина

- процес добијања сировина из природе обавља се уз потрошњу енергетских ресурса и стварање штетних гасова
- мењају се геоморфолошке карактеристике земљишта – састав и рељеф, заузимају се слободне површине, дешава се ерозија, дефорестизација, поремећаји и загађење водотокова, поремећаји екосистема, деградирају се природне амбијенталне вредности, често се загађује ваздух

#### Производња материјала и производа

- процес производње материјала и производа подразумева потрошњу енергетских ресурса и стварање штетних гасова
- често се генеришу штетни споредни производи без употребне вредности, који доприносе загађењу ваздуха, воде и земљишта

- за производњу појединих материјала троши се велика количина воде која након употребе постаје загађена, па негативно утиче на све водене екосистеме у које отиче

#### Уграђивање материјала и производа - изградња

- мења се земљиште, екосистеми, микроклима, постоји ризик од ерозије, поремећаја подземних водотокова, загађења воде
- окупира се слободно земљиште, што води ка његовом дефициту, загађивању и деградацији
- при допремању материјала и опреме за грађење троши се енергија, односно енергетски ресурси и стварају штетни гасови
- троши се енергија и за рад машина, уређаја и опреме
- током уграђивања грађевинских материјала може доћи до емисије токсичних гасова и генерисања прашине и честица које могу угрозити земљиште, воду и ваздух, при чему је посебно угрожено здравље радника; такође се ствара бука; троши се вода која постаје отпадна и потенцијално даље загађује земљиште и водотокове
- током изградње генерише се отпад (амбалажа, оштећени комади, вишак материјала, отпаци при кројењу материјала), који се одлаже на земљиште и посредно загађује воду и ваздух

#### Употреба и одржавање

- током употребе, одржавања и обнове изграђених капацитета, троши се енергија, односно енергетски ресурси и често се стварају штетни гасови
- током одржавања и обнове изграђених капацитета јављају се утицаји као у случају уграђивања нових, односно разграђивања постојећих грађевинских материјала и производа
- у зградама се троши вода и изазива њено загађење
- изграђени капацитети делују на микроклиму, природне механизме и изазивају загађење окружења (топла градска острва, улични кањони, бљесак, ноћно светло, ложишта и котларнице, фрижидери и клима уређаји, генерисање отпада...)

## Разграђивање – рушење

- троши се енергија, ствара се бука, чврсти отпад и прашина
- разграђени материјали и компоненте се или одлажу као отпад или се поново употребљавају или рециклирају (3% се поново користи, а 97% се третира као отпад)
- током транспорта материјала троше се енергетски ресурси и стварају штетни гасови
- одложени отпад може да загади земљу, ваздух и воду, науди окружењу и здрављу људи

Наведени утицаји, који су само део комплексних интеракција, утичу на грађевинарство и одрживости његових производа.

Имајући у виду наведено, грађевинарство се суочава са изазовом здраве животне средине већим него у било ком другом индустријском сектору. На првој Интернационалној конференцији о одрживој изградњи, одржаној 1994. године, одржива изградња је дефинисана као стварање и одговорно руковођење здравим изграђеним окружењем, базираном на ефикасном коришћењу ресурса и еколошким принципима.<sup>43</sup> Стратегије за подизање нивоа одрживости изградње представљене су у "Агенди за одрживу изградњу у Европи"<sup>44</sup>, из 2001. године. Кључне стратегије тичу се: подизања нивоа свести о темама одрживости код јавности; иницирања промена у стилу живота; развоја еколошке свести у грађевинском сектору; развијања метода градње, коришћења и рушења изграђених капацитета, које ће ублажити њихов негативни утицај на животну средину, а које ће побољшати квалитет живота људи; вредновања планираних и постојећих капацитета током њиховог животног циклуса, кроз социјалне, економске и аспекте животне средине; установљавања механизма за извештавање о постигнутом унапређењу.<sup>45</sup>

Србија је у процесу развијања националне политике и стратегије за сектор грађевинарства у контексту одрживог развоја. Према Закону о заштити животне средине Републике Србије, из 2004. године, утврђен је "интегрални систем заштите

---

<sup>43</sup> C. J. Kibert, Final Session, First International Conference of CIB TG 16 on Sustainable Construction.

<sup>44</sup> Working Group for Sustainable Construction. *Competitiveness of the Construction Industry: An agenda for sustainable construction in Europe* (A report drawn up by the Working Group for Sustainable Construction with participants from the European Commission, Member States and Industry, Brussels, 2001). <http://www.gci-uicp.eu/Documents/Reports/Sust-con-final.pdf>

<sup>45</sup> Working Group for Sustainable Construction, 11.

животне средине којим се обезбеђује остваривање права човека на живот и развој у здравој животној средини и уравнотежен однос привредног развоја и животне средине". Заштита и унапређење животне средине се у контексту грађевинских активности односи на заштиту и унапређење природне и грађене средине, као извора и услова живота. Интервенције у животној средини и на бази њених ресурса морају се заснивати на контролисаном коришћењу обновљивих и необновљивих ресурса. Међу обновљивим ресурсима посебан значај се мора придавати води, ваздуху и земљишту (тешко обновљиви ресурси), а међу необновљивим, минералним сировинама и природном и културном наслеђу. У складу са наведеним, према новом законском оквиру у области планирања и изградње, односно према Закону о планирању и изградњи Републике Србије ("Сл. гласник РС", бр. 72/2009, 81/2009 - испр., 64/2010 - одлука УС, 24/2011, 121/2012, 42/2013 - одлука УС и 50/2013 - одлука УС), проистеклом из Националне стратегије одрживог развоја, предвиђа се уређење и коришћење простора засновано на начелима одрживог развоја, као и обезбеђење одрживе градње применом техничких мера, стандарда и услова планирања, пројектовања, изградње и употребе објеката.

## 1.2 Еколошки квалитет зграде

Стратегија одрживог развоја грађене средине може се градити на основу тумачења одрживог развоја по коме „одрживи развој значи унапређење квалитета људског живота у границама капацитета подношења екосистема који га подржава".<sup>46</sup> Квалитет живота се може тумачити као однос између појединца и његовог животног окружења,<sup>47</sup> при чему се животно окружење разматра као комплексна средина: природна, створена, друштвена, културна, привредна, политичко-управна и правна средина, односно као јединствен систем међусобно повезаних фактора који окружују човека у простору у коме живи и ствара услове живљења.

Хумана екологија изучава однос између човека и његовог животног окружења и дефинише људске екосистеме као кохерентне системе биофизичких и друштвених фактора, способне за адаптацију и одрживост током времена. Биофизички фактори, односно услови животне средине, ограничавају и усмеравају процесе људских

---

<sup>46</sup> IUCN, UNEP, WWF, *Caring for the earth*, 10.

<sup>47</sup> Републичка агенција за просторно планирање, *Стратегија просторног развоја*, 28.

екосистема. Унутар људског екосистема основни ресурси су биофизички, друштвено-економски и културни ресурси. Ток и употреба ових ресурса регулисани су друштвеним системом, односно друштвеним структурама. Друштвени систем заједно са током ресурса чини људски екосистем.<sup>48</sup> Унутар ове структуре кључни су токови енергије, материјала и информација.

Еколошки интегритет људског екосистема огледа се у његовој способности да подржи и одржи уравнотежену, интегрисану и адаптивну људску заједницу. Здрав људски екосистем дефинише се као стабилан и одржив, односно онај који одржава своју организацију и аутономију током времена, као и своју отпорност на стрес.<sup>49</sup> Сервиси људског екосистема су услови и процеси кроз које он одржава свој интегритет и здравље.

Еколошки квалитет се може дефинисати као усклађеност потреба људи за сервисима екосистема и могућности њиховог одрживог пружања. Еколошки квалитет заснива се на уравнотеженом односу између људи и њихове животне средине, односно на еколошкој равнотежи. Међу стратегијама за постизање еколошке равнотеже, од посебног значаја је она која се тиче развоја метода изградње, коришћења и рушења изграђених капацитета, које ће ублажити негативне утицаје на животну средину, уз истовремено одржање или унапређење квалитета живота људи. Кључно питање везано је за еколошки квалитет изграђених капацитета, обзиром на то да је он један од предуслова одрживог развоја друштвене, културне и привредне средине. Међутим, питања која се тичу процене и оцене квалитета изграђених капацитета у контексту одрживости су врло комплексна. Неке од основних тема које усложњавају овај процес су: Шта је тачно систем коме се приписује еколошки квалитет? Током ког времена се процењује еколошки квалитет? Шта се подразумева под еколошким квалитетом система и како се он одређује?<sup>50</sup>

Шта је тачно систем коме се приписује еколошки квалитет?

Због комплексности процене еколошког квалитета грађене средине на нивоу насеља, које је често веома сложен подсистем система вишег реда - људског екосистема, већина до сада развијених система за процену квалитета изграђених

---

<sup>48</sup> Machlis, Force, and Burch, „The human ecosystem part I“, 347-367.

<sup>49</sup> Haskell, Norton, and Costanza, „What is ecosystem health, and why should we worry about it?“, 3-20.

<sup>50</sup> Bell and Morse, *Sustainability Indicators*, 12.

капацитета у контексту одрживости, за границу система узима објекат са ближим окружењем. Објекат, односно зграда узета је као граница система и у овом истраживању.

Током ког времена се процењује еколошки квалитет зграде?

Негативни утицаји на животну средину јављају се током животног циклуса зграде, односно током фазе производње материјала и производа, фазе изградње зграде, фазе употребе зграде и фазе „краја живота“ зграде. У том смислу утицаји на животну средину могу се сагледати само уколико се истраже током целокупног животног циклуса зграда. У приложеној шеми дефинисане су основне фазе животног циклуса зграде према BS EN 15978:2011 методи (Слика 2):

ИНФОРМАЦИЈЕ О ЖИВОТНОМ ЦИКЛУСУ ЗГРАДЕ													
ПРОИЗВОДЊА			ИЗГРАДЊА		УПОТРЕБА					КРАЈ ЖИВОТА			
Добијање сировина	Транспорт	Производња	Транспорт	Процес уградње	Употреба	Одржавање (укљ. транспорт)	Поправка (укљ. транспорт)	Замена (укљ. транспорт)	Обнова (укљ. транспорт)	Демонтажа / Рушење	Транспорт	Прерада отпада	Одлагање
					Употреба енергије								
					Употреба воде								

Слика 2. Фазе животног циклуса зграде према EN 15978:2011 методи. [Извор: European Committee for Standardization (CEN), EN 15978:2011 - Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method (Brussels: CEN, 2011)]

Шта се подразумева под еколошким квалитетом зграде и како се он одређује?

Обзиром на наведена полазишта, у оквиру овог истраживања, еколошки квалитет зграде се дефинише као ниво до кога перформансе зграде задовољавају потребе и очекивања њених власника/корисника, а које се односе на социјалне и економске добробити остварене уз истовремену заштиту и унапређење животне средине током животног циклуса зграде (Слика 3).



Слика 3. Мерило еколошког квалитета зграде [Извор: Илустрација аутора]

### 1.2.1 Критеријуми за процену еколошког квалитета зграде - индикатори

Процена еколошког квалитета постојећих и планираних зграда (пројектованих решења) током њиховог животног циклуса, односно квалитета у контексту одрживости, захтева интегрални приступ, који подразумева комплексну, системску анализу социјалних, економских и аспеката животне средине.

Током последње две деценије, у свету су развијени многи системи за процену квалитета зграда у контексту одрживости (BREEAM, Велика Британија, 1990; HQE, Француска, 1996; TQB, Аустрија, 2006; DGNB, Немачка, 2007; BNB/DGNB, Немачка, 2009; LEED, САД, 1998; CASBEE, Јапан, 2002;...). Ови системи се константно мењају са циљем унапређења, односно узимања у обзир већег броја аспеката одрживости и њиховог системског сагледавања током животног циклуса зграда. У Европи су покренуте бројне активности које се тичу стандардизације квалитета зграда у контексту одрживости. Међу стандардима који се развијају са циљем интегралне процене перформанси зграда током њиховог животног циклуса посебан значај имају стандарди које развија сектор CEN TC 350 - "Sustainability of Construction Works", Европског комитета за стандардизацију - CEN (European Committee for Standardization), на основу захтева Европске комисије (M/350 Standardisation mandate to CEN). Објављен је општи оквир за процену одрживости зграда (EN 15643-1:2010), оквир за процену утицаја зграда на животну средину (EN 15643-2:2011), као и оквири за процену социјалних перформанси (EN 15643-3:2012) и

економских перформанси зграда (EN 15643-4:2012). Паралелно са развијањем стандарда од стране CEN-а (Mandate M350), које је у току од 2005. године, Европска комисија финансира истраживачке пројекте који имају за циљ развијање јединствене методологије за интегралну процену квалитета зграда, која ће равноправно узети у обзир све три димензије одрживости, односно социјалне, економске и аспекте животне средине. Међу њима, када су у питању постигнути резултати, значајни су пројекти LEnSE-2006/2007 (Sixth Framework Programme), SuPerBuildings - 2010/2012 и OPEN HOUSE - 2010/2013 (Seventh Framework Programme). Кључне теме у оквиру наведених пројеката су дефинисање индикатора одрживости, нивоа перформанси одрживости и процедура за њихову евалуацију, на бази постојећих методологија, норматива, стандарда и процедура евалуације. Анализирају се аспекти перформанси и утицаји који се могу изразити преко квантитативних и квалитативних индикатора одрживости. Индикатори одрживости постају основ за интегралну процену квалитета планираних и постојећих зграда, односно основ за интегралну процену квалитета пројектованих решења.

На основу истраживања до сада развијених система и методологија, у оквиру овог истраживања анализирани су и предложени индикатори за интегралну процену квалитета зграде, у контексту одрживости, односно индикатори за процену еколошког квалитета зграде. Индикатори су разврстани по критеријумима одрживости, међусобно повезаним и условљеним, у три групе:

- индикатори у оквиру критеријума заштите животне средине
- индикатори у оквиру критеријума социјалних добробити
- индикатори у оквиру критеријума економских добробити

Индикатори заштите животне средине заснивају се на анализи животног циклуса зграде, када је у питању процена утицаја на животну средину, односно процена степена њене заштите. Када су у питању социјалне и економске добробити, индикатори су засновани на анализи степена задовољења потреба власника/корисника у фази употребе зграде.

Индикатори у оквиру критеријума за процену еколошког квалитета зграда, поред тога што су основ за интегралну процену квалитета пројектованих решења, преко квантитативне и квалитативне процене нивоа пројектованих и постигнутих перформанси, узимају се као основ за дефинисање интегрисаних пројектних циљева,



како би се обезбедио еколошки квалитет зграде, односно оптимизовале њене перформансе у контексту одрживости.

### **1.2.1.1 Критеријум заштите животне средине током животног циклуса зграде - индикатори**

Процена еколошког квалитета зграде, на основу групе индикатора заштите животне средине, односи се на утврђивање ефеката током животног циклуса зграде на глобалну и локалну животну средину. Циљ је ограничавање емисија загађујућих супстанци и одговорно коришћење материјалних ресурса, како би се очувала продуктивност и стабилност екосистема.

Како би се умањили негативни утицаји људских активности на животну средину, током животног циклуса изграђених капацитета, потребно је редуковати:

Приликом добијања сировина:

- деградацију предела; потрошњу енергије; емисије буке; загађење ваздуха, воде и земљишта

Приликом обраде сировина, производње и дистрибуције производа:

- потрошњу енергије; потрошњу воде; емисије буке; загађење ваздуха, воде и земљишта; количину отпада; утицаје током транспорта

Приликом изградње објеката:

- деградацију вредности природне и грађене средине; потрошњу енергије; потрошњу воде; емисије буке; загађење ваздуха, воде и земљишта; утицаје током транспорта; количину отпада материјала и амбалаже; количину отпада који се мора однети на депоније

Приликом експлоатације објеката:

- потрошњу енергије; потрошњу воде; емисије буке и штетних супстанци у ваздух, воду и земљиште; количине материјала за одржавање и обнову; количину отпада који се мора однети на депоније; утицаје током транспорта

Приликом разграђивања објеката:

- потрошњу енергије; буку и загађење ваздуха, воде и земљишта; количину отпада који се мора однети на депоније; утицаје током транспорта

Редуковање негативних утицаја на животну средину, у фазама животног циклуса изграђених капацитета, могуће је остварити уколико се:

У фази добијању сировина:

- редукују потребе за примарним сировинама
- користе ресурси којима се одговорно управља

У фази обраде сировина, процеса производње и дистрибуције производа:

- користе локално доступни материјали како би се редуковали утицаји током транспорта
- користе технологије производње са мањим утицајем на животну средину

У фази изградње објеката:

- пројектују објекти узимајући у обзир аспекте заштите животне средине
- користе методе и технике градње које имају мањи утицај на животну средину
- користе локално доступни грађевински материјали и производи како би се редуковали утицаји током транспорта
- користе грађевински материјали и производи одговарајућег квалитета
- редукују количине отпада преко прецизних поруцбина (количина материјала, димензије елемената, време испоруке)
- сортира и складишти отпад за потребе будуће обнове или рециклаже

У фази експлоатације објеката, када је у питању:

- оперативна енергија
  - повећа енергетска ефикасност постојећих објеката, њихових система и опреме, са циљем редуковања потрошње енергије
  - користи енергија из обновљивих извора – хидроенергија, геотермална енергија, енергија сунца, ветра и биомасе
- вода
  - повећа ефикасност коришћења воде
  - врши прикупљање и складиштење воде са циљем поновне употребе (без или са пречишћавањем-рециклажом)

- емисија буке и штетних супстанци у ваздух, воду и земљиште
  - употребљавају неотровни и неалергенски материјали
  - употребљавају системи и опрема који производе мање штетних емисија
  - пречишћавају отпадне воде, ваздух и загађено земљиште
- количина материјала за одржавање и обнову
  - користе материјали и производи одговарајућег квалитета
  - користе системи и опрема који се ефикасно одржавају
- количина отпада који се мора однети на депоније
  - редукује количина отпада
  - одговорно управља отпадом
- утицај на окружење током транспорта
  - редукује потреба за транспортом
  - користе видови транспорта који имају мањи утицај на животну средину

У фази краја живота, односно разграђивања објеката:

- демонтира и/или селективно руши
- спроводи сортирање и складиштење компоненти након разграђивања, са циљем поновне употребе или рециклаже

У табели су дати предложени индикатори за процену квалитета зграде у оквиру критеријума заштите животне средине током животног циклуса зграде (Табела 1):

Табела 1 - Критеријум заштите животне средине током животног циклуса зграде – индикатори

Критеријум заштите животне средине током животног циклуса зграде - индикатори		
штетне емисије у ваздух, воду и земљиште	потенцијал глобалног загревања	kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup> годишње
	потенцијал оштећења озонског омотача	kg R <sub>11</sub> -ekv/m <sup>2</sup> годишње
	потенцијал за повећање киселости	kg SO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup> годишње
	потенцијал еутрофикације	kg PO <sub>4</sub> -ekv/m <sup>2</sup> годишње
	потенцијал фотохемијског формирања озона	Kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -ekv/m <sup>2</sup> годишње
захтев за енергијом	захтев за примарном енергијом из необновљивих извора	kWh/m <sup>2</sup> годишње
	захтев за укупном примарном енергијом и удео примарне енергије из обновљивих извора	kWh/m <sup>2</sup> годишње
захтев за укупном количином материјала		kg
удео материјала из секундарних сировина		kg
удео материјала из примарних сировина из обновљивих извора		kg
удео материјала из извора којима се одговорно управља		kg
одлагање отпада и удео опасног отпада		kg
захтеви за свежом водом и количина отпадне воде		l
захтев за земљиштем високог бонитета		m <sup>2</sup>
удео претходно коришћеног грађевинског земљишта		m <sup>2</sup>
утицај на локални екосистем		промена у еколошкој вредности локације

[Извор: Табела аутора]

### 1.2.1.2 Критеријум социјалних добробити за кориснике током фазе употребе зграде – индикатори

Процена еколошког квалитета зграде, на основу ове групе индикатора, односи се на утврђивање нивоа до кога перформансе зграде задовољавају потребе и очекивања њених корисника, током фазе употребе зграде.

Човек уобличава своје животно окружење сопственим деловањем, али истовремено и он сам бива уобличаван под утицајем свог животног окружења.<sup>51</sup> Од свих различитих форми стваралаштва којима је човек изложен, ни једна нема тако значајан ефекат на понашање и искуство човека као архитектура.<sup>52</sup> У том контексту, архитектонски простори треба да поседују квалитете који доприносе квалитету живота човека, односно животном задовољству, кроз очување и унапређење његовог здравља, подстицање осећаја сигурности, угодности и склада са животним окружењем.

Архитектонски простори својим перформансама треба да одговарају на потребе корисника, али и да их иницирају. Истраживање потреба корисника не сме се свести само на оне физички мерљиве. Архитектонски простори треба да задовоље еколошке људске потребе, односно аутентичне људске потребе, у којима вредност “бити” превазилази вредност “имати”. У књизи „Развој примерен човеку“, заснованој на полазишту да је “развој о људима, а не о објектима”, економиста Манфред Макс-Ниф идентификује фундаменталне, међусобно повезане, једнако значајне људске потребе, које сматра универзалним.<sup>53</sup> У егзистенцијалној категорији су потребе: бити, имати (не у материјалном смислу), радити и интерреаговати, док су у аксиолошкој категорији потребе за самоодржањем, заштитом, приврженошћу, разумевањем, партиципацијом, одмором, креацијом, идентитетом и слободом. Фундаменталне потребе подстичу људе на активност и усмеравају њихово понашање. Оне формирају очекивања и директно утичу на то како се опажа окружење и који је ниво сатисфакције. Када окружење омогућава задовољење ових аутентичних потреба, може се говорити о животном задовољству. Задовољење фундаменталних људских потреба нераскидиво је повезано са животном средином, односно природном и

---

<sup>51</sup> Giddens, *Sociology*, 124.

<sup>52</sup> Mark DeKay, *Integral Sustainable Design: Transformative Perspectives* (London: Earthscan, 2011).

<sup>53</sup> Max-Neef, *Human Scale Development*, 32-33.

грађеном средином. Када је у питању човекова потреба за самоодржањем архитектонски простори везују се за појам склоништа, док се задовољење осталих потреба из аксиолошке категорије, а које се тиче егзистенцијалне потребе за интеракцијом, везује за следеће појмове: животни простор, станиште, дом, простор заједништва, простор учења, простор партиципације, суседство, простор приватности, простор интимности, простор блискости, окружење, предео, простор продуктивности, простор изражавања, простор припадности, простор могућности.

Човек, као учесник, корисник, посматрач, стваралац, је јединствена мера укупне вредности архитектонских простора, као „сложене композиције материјалних и нематеријалних чинилаца сагледаних кроз његову призму“.<sup>54</sup> Архитектонски простори као део свеукупног простора живота, схваћени као животни амбијенти, настали процесом артикулације „пуног“ и „празног“, целине отвореног и затвореног простора, спољног и унутрашњег простора, представљају скуп актуелних чињеница доступних перцепцији. Перцепција се дефинише као процес добијања информација из и о окружењу, активно и сврсисходно.<sup>55</sup> У перцептуалним процесима интерпретирају се информације из окружења у смислу њиховог ефекта на тренутне потребе, преференце и активности, што указује на инхерентну варијабилност психолошких одговора у зависности од контекста.<sup>56</sup> Перцепција и вредновање простора условљени су личним и ситуационим факторима. Евалуација окружења везана је за индивидуалне психо-физичке карактеристике појединца, узраст, пол, етничку припадност, социо-економски статус, претходно искуство и субјективне вредности.<sup>57</sup>

Чулност је наша веза са окружењем. Перцепција окружења почиње чулном сензацијом. Процес перципирања окружења, током кога човек селекционише, организује и интерпретира чулне податке је значајан процес који помаже човеку да дефинише свој свет и усмери своје понашање.<sup>58</sup> Перципирање (опажање) архитектонског простора је мулти-сензорно. Чулна искуства су у интеракцији и међусобно се претапају. Дански архитекта Јухени Паласме указује на то да се

---

<sup>54</sup> Božović-Stamenović, *O prostorima lečenja*, 51.

<sup>55</sup> Jon Lang, *Creating Architectural Theory: The Role of the Behavioral Sciences in Environmental Design* (New York: Van Nostrand Reinhold, 1987).

<sup>56</sup> Canter, „The purposive evaluation of places“, 659-698.

<sup>57</sup> Farshchi, & Fisher, „Emotions and the environment“, 69.

<sup>58</sup> Cook and Hunsaker, *Organizational Behavior*, 162.

„архитектура која треба да унапреди квалитет живота, мора обратити свим нашим чулима симултано“.<sup>59</sup> Визуелним аспектима архитектонских простора често се даје примат, међутим „гледање“ је само део искушавања окружења.<sup>60</sup>

Када је у питању искушавање окружења, естетски квалитет се може дефинисати као ниво до кога екстерни фактори или комбинација фактора изазивају пријатан емоционални одговор услед стимулације пет телесних чула, вида, слуха, мириса, укуса и додира.<sup>61</sup> Џон Дјуи, у књизи „Уметност као искуство“, такође указује на то да је естетски квалитет емоционални. По њему, емоције су оно што искуству даје естетски карактер.<sup>62</sup> Естетско искуство је позитиван емоционални одговор на чулне стимулансе из окружења. Естетско искуство се повезује са само-испуњењем, пре него са само-очувањем.<sup>63</sup> Естетско искуство, у коме су акција, осећање и значење једно,<sup>64</sup> чини полазну тачку естетског вредновања. Естетски вредносни суд је израз одговора на чулни изазов.

Феноменалне перцептуалне особине архитектонског простора постају естетски релевантне у контексту експресивних квалитета који се односе на корисникова емоционална стања као одговор на простор. Централни проблем естетике у архитектури је да одлучи која су то емоционална стања, која се јављају као корисников одговор на поједине архитектонске просторе, релевантна.

На значај успостављања релација на нивоу архитектонски простори - емоционална стања корисника указују и истраживања из области енвајронменталне психологије. Стимуланси из физичког окружења изазивају различита емоционална стања код појединца, што се одражава на његов однос према окружењу и на његов одговор на окружење у виду приступања или избегавања.<sup>65</sup> Ружица Божовић-Стаменовић, у књизи „О просторима лечења – центри дневне неге“, такође указује на то да уколико се простор доживљава као непријатан, јавиће се потреба да се простор

---

<sup>59</sup> Pallasmaa, *Architecture and the Senses*, 11.

<sup>60</sup> Berleant, „Environment and the Body“, 69–78; Arnold Berleant, *Living in the Landscape: Toward an Aesthetics of Environment* (Lawrence: University Press of Kansas, 1997).

<sup>61</sup> Philipp et al. „Aesthetic quality and environmental values“, 195-199.

<sup>62</sup> John Dewey, *Art as Experience (1934)* (New York: Perigee Books, 1980).

<sup>63</sup> Porteous, *Environmental Aesthetics*, 6-8.

<sup>64</sup> John Dewey, *Art as Experience (1934)* (New York: Perigee Books, 1980).

<sup>65</sup> A. Mehrabian and J.A. Russell. *An approach to environmental psychology* (Cambridge: The Mit Press, 1974).

напусти. Уколико се простор доживљава као пријатан, корисници ће волети да у њему бораве и делају, што ће свакако допринети остварењу улоге простора.<sup>66</sup>

Ниво квалитета архитектонског простора се суштински може мерити само у односу на квалитет активности корисника. Простор и његови елементи поред тога што су оквир за догађања, иницирају и усмеравају активности корисника и стимулишу њихов интензитет. „Није свеједно у каквим се просторним и визуелним околностима обавља нека активност. Другачији услови креирају другачији ниво делатности... Архитектуром се директно обликују навике и доживљаји везани за активности које се обављају, креира наш однос према свакодневном животу“.<sup>67</sup> Захваљујући својим амбијенталним квалитетима архитектонски простори могу подстаћи продуктивност запослених, унапредити процес учења или допринети бржем излечењу пацијената. Архитектонски простори намењени пословању могу допринети 24% већем задовољству послом, 5% већој продуктивности запосленог или чак 11% већој продуктивности тима у оквиру предузећа.<sup>68</sup> Квалитети школских простора утичу на ниво активности, комуникацију, социјалну интеракцију и задовољство ученика и наставника. „Естетска димензија простора помаже ученицима да развијају свест, имагинацију и жељу за учењем. Ова димензија иде даље од визуелног. Адекватно осветљење, клима унутрашњих простора, здрави материјали, низак ниво буке, све има позитиван ефекат на учење“.<sup>69</sup> Архитектонски простори могу допринети процесима излечења пацијената редукујући стрес код пацијената и болничког особља.<sup>70</sup> „Јасно је да изграђено окружење има потенцијал да буде терапеутска интервенција“.<sup>71</sup> Истраживања и докази из области енвајронменталне психологије, неуролошких наука, психонeuroимунологије, треба да информишу пројектанте у процесу обликовања искуства корисника, посебно имајући у виду да амбијентални квалитети архитектонских простора могу и негативно утицати на кориснике. Лош квалитет ваздуха, неадекватни термални услови, неадекватно

---

<sup>66</sup> Božović-Stamenović, 65-66.

<sup>67</sup> Ратковић, „Култура пословања“, 140.

<sup>68</sup> SABE, BCO, *The impact of office design on business performance*.

<sup>69</sup> Ulla Kjærvang, *Æstetik, ja tak, - en inspirationsbog om hverdagsæstetik i grundskolen* (Dansk Center for Undervisningsmiljø, 2003).

<sup>70</sup> Roger Ulrich et al. *The Role of the Physical Environment in the Hospital of the 21st Century* (The Center for Health Design, 2004).

<sup>71</sup> Jain Malkin, *Hospital Interior Architecture: Creating Healing Environments for Special Patient Populations* (New York: John Wiley and Sons, 1992).



осветљење, висок ниво буке, неадекватни материјално-обликовни аспекти уређења простора, неадекватан визуелни контакт са спољном средином, могу довести до неугодности, умора, стреса и болести, што отежава остварење улоге простора.

У процесу везивања корисника за архитектонски простор, које се односи развијање позитивно интонираних веза између корисника и простора, издвајају се два кључна аспекта квалитета архитектонских простора, функционални и симболички.<sup>72</sup> Ови аспекти тичу се сагледавања услова који треба да подрже жељене активности, односно могућности простора да стимулише жељена искуства.<sup>73</sup>

Како би се стимулисале позитивно интониране релације између корисника и простора, односно активности корисника, архитектонски простори треба да: остваре улогу заштите и безбедности корисника; пруже контролисане услове топлотног, ваздушног, светлосног и акустичког комфора; обезбеде снабдевање здравом и чистом водом; минимизују дејстава електромагнетног загађења; осигурају несметано кретање и приступ особама са инвалидитетом, деци и старим особама; пруже све потребне, адекватно организоване садржаје; буду лако прилагодљиви могућим новим потребама; буду лаки за одржавање; буду део адекватног ширег окружења; пруже адекватну визуелну стимулацију. У табели су дати предложени индикатори за процену квалитета зграде у оквиру критеријума социјалних добробити за кориснике током фазе употребе зграде (**Табела 2**):

---

<sup>72</sup> Giuliani, „Place attachment in a developmental and cultural context“, 267-274; Williams et al. „Examining emotional and symbolic attachment to place“, 29-46.

<sup>73</sup> Kyle and Chick, „The social construction of a sense of place“, 209-226; Williams et al. „Examining emotional and symbolic attachment to place“, 29-46.

Табела 2 - Критеријум социјалних добробити за кориснике током фазе употребе зграде – индикатори

<b>Критеријум социјалних добробити за корисника током фазе употребе зграде - индикатори</b>	
заштита и безбедност	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ниво заштите од пожара, јаких ветрова, интензивних падавина, поплава, грмљавине, земљотреса, удара, експлозија</li> <li>- ниво заштите здравља и заштите од повређивања током употребе</li> <li>- ниво заштите од провала и крађа</li> </ul>
топлотни комфор	<ul style="list-style-type: none"> <li>- температура ваздуха</li> <li>- средња температура зрачења околних површина</li> <li>- релативна влажност ваздуха</li> <li>- релативна брзина ваздуха, интензитет турбуленције, промаја</li> <li>- степен заштите од директног сунца</li> <li>- оцена од стране корисника</li> </ul>
ваздушни комфор	<ul style="list-style-type: none"> <li>- количина свежег ваздуха у литрима у секунди по особи</li> <li>- количина хемијских загађивача ваздуха</li> <li>- ниво радијације</li> <li>- присуство микроба</li> <li>- количина честица и микровлакана</li> <li>- присуство материјала непријатног мириса</li> <li>- оцена од стране корисника</li> </ul>
акустички комфор	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ниво позадинске/амбијенталне буке од спољних извора, инсталираних система, људског говора и активности (ниво звучног притиска у простору)</li> <li>- акустичке перформансе у складу са наменом простора</li> <li>- оцена од стране корисника</li> </ul>
операциони комфор	<ul style="list-style-type: none"> <li>- могућност контроле одређених параметара термалног, акустичког, светлосног и ваздушног комфора, од стране корисника</li> </ul>
квалитет воде	<ul style="list-style-type: none"> <li>- доступност пијаће воде</li> <li>- присуство микроба</li> <li>- хемијски састав</li> <li>- ниво радиоактивности</li> </ul>
ниво електромагнетног загађења	<ul style="list-style-type: none"> <li>- јачина електромагнетног поља</li> </ul>
лака приступачност просторима зграде	<ul style="list-style-type: none"> <li>- несметано кретање особа са инвалидитетом, деце и старих особа</li> </ul>
заступљеност потребних садржаја	<ul style="list-style-type: none"> <li>- доступност и број садржаја</li> <li>- функционалне перформансе сервиса</li> <li>- оцена од стране корисника</li> </ul>

<b>Критеријум социјалних добробити за корисника током фазе употребе зграде - индикатори</b>	
квалитет организације садржаја	<ul style="list-style-type: none"> <li>- степен остварења просторног стандарда</li> <li>- односи између зона</li> <li>- комуникационе везе</li> <li>- оцена од стране корисника</li> </ul>
погодност простора за пренамену	<ul style="list-style-type: none"> <li>- могућност реализације различитих активности</li> <li>- могућност различитог уређења и опремања простора</li> <li>- прилагодљивост система</li> <li>- могућност интервенције у односу на решење спољног</li> </ul>
лакоћа одржавања зграде	<ul style="list-style-type: none"> <li>- приступачност за одржавање</li> <li>- учесталост одржавања</li> <li>- обим радова на одржавању</li> <li>- начин одржавања – врста радова и организација посла</li> </ul>
локацијски аспекти	<ul style="list-style-type: none"> <li>- мали ризици на локацији</li> <li>- ефикасност инфраструктуре</li> <li>- приступ јавним службама</li> <li>- близина услужних делатности</li> <li>- кратке пешачке дистанце</li> <li>- погодност за употребу бицикала</li> <li>- близина јавног превоза</li> <li>- присуство зеленила</li> </ul>
визуелни аспекти	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ниво и обрасци визуелне стимулације</li> <li>- оцена од стране корисника</li> </ul>
светлосни комфор	<ul style="list-style-type: none"> <li>- проценат површине под дневним светлом</li> <li>- контрола упада директне сунчеве светлости</li> <li>- ниво осветљености</li> <li>- равномерност осветљености</li> <li>- контрола бљеска, директног или рефлектујућег</li> <li>- перформансе осветљења у складу са наменом простора</li> <li>- оцена од стране корисника</li> </ul>

[Извор: Табела аутора]

### **1.2.1.3 Критеријум економских добробити за кориснике током фазе употребе зграде – индикатори**

Доминантна економска теорија развила се у време када се нису узимали у обзир ограничени поједини капацитети природе, када је у питању потрошња сировина и могућност одлагања отпада и апсорбовања штетних емисија. Такође, значај и бенефити улагања у људске ресурсе често нису били предмет економских анализа. Економски односи ишли су у правцу максимизације профита и потрошње,

што је у грађевинској индустрији водило ка смањењу квалитета зграда, а тиме и ка смањењу квалитета живота њихових корисника, уз истовремено вршење великог притиска на животну средину. Међутим, овакви односи препознати су као неодрживи. Остварење еколошког квалитета зграда током њиховог животног циклуса, који подразумева ограничавање емисија загађујућих супстанци и одговорно коришћење материјалних ресурса, уз истовремено задовољење потреба и очекивања корисника зграде, постаје један од кључних циљева одрживе економске политике.

Међутим, поред задовољења аспеката квалитета из области заштите животне средине и области социјалних добробити, морају бити задовољена и два кључна економска аспекта која се тичу зграда: аспект минималних трошкова животног циклуса зграде и аспект очувања вредности зграде као дугорочне инвестиције.

#### Аспект минималних трошкова животног циклуса зграде

Трошкови животног циклуса зграде подразумевају трошкове у фазама изградње, употребе и „краја живота“ зграде. Циљ је постићи оптимални баланс између трошкова планирања, трошкова изградње и опремања објекта, трошкова коришћења, одржавања и управљања, као и трошкова на крају животног века објекта. У оваквом приступу, најјекономичнија зграда постаје она која има најниже трошкове животног циклуса. Највећи део трошкова животног циклуса зграде чине трошкови њеног коришћења и одржавања.<sup>74</sup> Ови трошкови се јављају у фази ефективне употребе зграда, која је временски значајно дужа од осталих карактеристичних фаза у животног циклусу зграде (**Табела 3**). У већини европских система за вредновање зграда у контексту одрживости, за дужину трајања ове фазе претпоставља се период од 50-60 година.

---

<sup>74</sup> Krstić i Marenjak, „Analiza troškova održavanja i uporabe građevina“, 293-303.

Табела 3 - Трајање појединачних фаза у животном циклусу зграде

Фаза 1	Фаза 2	Фаза 3	Фаза 4	Фаза 5	Фаза 6
Дефинисање потреба	Фаза планирања и пројектовања	Фаза изградње	Усељење и почетак коришћења	Фаза употребе	Рушење, уклањање и рециклирање
1 година	2 године	1-2 године	1 година	50-60 година	1 година

[Извор: М. Radojević, М. Devetaković, и Т. Košić, „FM - професија будућности“, *AG Magazin*, 2005, 25]

Трошкови ефективне употребе зграде могу већ након 15 година досегнути трошкове њене изградње и опремања. На крају животног века зграде, ови трошкови могу чинити и до 80% укупних трошкова животног циклуса.<sup>75</sup> Обзиром на наведено, када је у питању вредновање варијантних решења, поред предмером и предрачуном установљених трошкова изградње, као основ за упоредну анализу, пре свега треба узети и процењене трошкове коришћења и одржавања зграде и њених делова. Одређена пројектантска решења могу захтевати веће трошкове изградње, али могу бити оправдана кроз значајну редукацију трошкова коришћења и одржавања зграда. У процесу оптимизације трошкова животног циклуса зграде, кључно је већ у раној фази процеса пројектовања уочити и размотрити аспекте који у већој мери могу допринети смањењу трошкова коришћења и одржавања зграде, обзиром на то да већи део ових трошкова бива дефинисан самим пројектантским одлукама. Примарно треба размотрити аспекте искоришћености простора, лакоће одржавања зграде, адаптивбилности простора и енергетске ефикасности зграде.

Ефикасно искоришћење простора, преко редукације потребне количине материјала и енергије потребне за коришћење и одржавање зграде, доприноси редукацији негативних утицаја на животну средину у фази употребе зграде, али и редукацији трошкова коришћења и одржавања зграде.

Пројектантска решења која осигуравају лакоћу одржавања зграде, односно трајност и поузданост зграде, њених делова, инсталација, уређаја, постројења и опреме, уз ниске трошкове одржавања, доприносе редукацији трошкова током употребног века зграде. Обим и врсте активности везаних за одржавање зграде зависе пре свега од врсте и квалитета уграђених материјала и производа, уређаја и

<sup>75</sup> DGNB, Quoted in Kunibert Lennerts, *Sustainability and FM: Trends and Development* (Institute for Technology and Management in Construction, 2011).

опреме, али и од начина њихове уградње и начина употребе. Одређена решења могу захтевати веће трошкове изградње, али могу обезбедити већу трајност зграде и њених делова, као и ниже трошкове одржавања. Са друге стране, погрешне одлуке током процеса пројектовања зграда могу водити ка повећању трошкова одржавања зграда. Трајност и поузданост зграде и њених делова могу бити редуковани применом нових и недовољно испитаних материјала и производа, односно недовољним познавањем њихових својстава и понашања, непознавањем или неразумевањем утицаја климатских и геолошких услова, неприлагођеним начинима и поступцима изградње условима у окружењу, недовољном комуникацијом пројектанта и извођача, као и лошом проценом понашања корисника када је у питању предвиђено одржавање. У том смислу, анализа трошкова одржавања зграде треба да подразумева предвиђање периода након кога ће елементи зграде и њени сервиси захтевати интервенцију, која се може тицати нпр. чишћења, бојења, поправке или замене, као и колики су трошкови предвиђених интервенција. Оно што отежава предвиђање је чињеница да се многе компоненте зграде током њеног животног века мењају пре него што им истекне век трајања, како због честих пренамена простора, тако и због напретка технологије и инсталирања нових и напреднијих система.

У укупним трошковима животног циклуса зграда, трошкови адаптације и реконструкције, које се тичу промене намене простора, могу чинити значајан део. У том смислу, потребно је остварити потребни ниво адаптивности простора зграде, односно креирати просторе које одликује одговарајућа могућност за пренамену уз минималне интервенције и низак ниво употребе људских, материјалних и финансијских ресурса, што је пожељно и са аспекта заштите животне средине и аспекта социјалних добробити. Реализација нових активности корисника треба да буде остварива уз минимум улагања у замену опреме и инсталационих система, интервенције на конструктивним елементима или измену спољног изгледа зграде. У том смислу, неопходно је успоставити пажљиво избалансиран однос између статичне матрице и матрице варијабилних елемената простора, у складу са могућим новим наменама простора. У овом процесу битно је омогућити лаку раздвојивост оних делова зграде који имају значајно различит технички, али и економски век. Лака физичка раздвојивост кључних „слојева“ зграде: конструкције, инсталација, уређаја и

лаких унутрашњих преграда, како би се повећала адаптивност простора, треба да буде остварена уз истовремену интеграцију на функционалном нивоу, у смислу контроле токова топлоте, ваздуха, светла, звука и влаге, у оквиру зграде као целине.<sup>76</sup>

Повећањем ефикасности зграде и њених система могуће је редуковати потрошњу оперативне енергије<sup>77</sup>, чиме се редукују трошкови коришћења зграде и притисак на животну средину током њеног животног циклуса.

#### Аспект очувања вредности (тржишне) зграде

Наведени аспекти, који се тичу редукације трошкова у фази употребе зграде, могу у великој мери допринети остварењу другог кључног економског аспекта који се тиче зграда, а то је аспект очувања вредности зграде током времена.

Аустријски економиста Карл Менгер је крајем деветнаестог века указао на појам субјективне вредности у економији.<sup>78</sup> По теорији субјективне вредности, коју је Менгер формулисао, економска вредност није инхерентно својство објекта. Она није производ количине рада или средстава која су потребна да се објекат направи. Економска вредност се заснива на потребама и жељама појединца и могућностима добара да омогуће њихово задовољење. Она је суд који људи доносе о значају добара која су им на располагању за одржање њиховог живота и благостања.<sup>79</sup> У том смислу, тржишна вредност зграде је пре свега одређена односима на тржишту и није у директној корелацији са производном вредности зграде. Она се делимично заснива на производној вредности, на вредности локације на којој је зграда изграђена, али се пре свега заснива на суду потенцијалних купаца о значају зграде за одржање њиховог живота и благостања. Субјективна процена вредности објекта често је одлучујућа у одређивању купопродајне цене објекта. Ако за објекат не постоје заинтересовани купци, свака прорачуном извршена процена вредности оваквог објекта нема потврду на тржишту.<sup>80</sup> Тржишна вредност зграде није условљена само заинтересованошћу купаца за куповину, односно ценом коју је појединац вољан да плати, већ је

---

<sup>76</sup> P. Russell and S. Moffatt, *Assessing Buildings for Adaptability. Annex 31 - Energy-Related Environmental Impact of Buildings* (International Energy Agency, 2001).

<sup>77</sup> Под појмом оперативна енергија се подразумева енергија која се користи за грејање, хлађење, вентилацију, осветљење и напајање опреме и уређаја зграда.

<sup>78</sup> Carl Menger, *Principles of Economics* (1871) (Auburn: Ludwig von Mises Institute, 2007).

<sup>79</sup> Carl Menger, *Principles of Economics* (1871) (Auburn: Ludwig von Mises Institute, 2007).

<sup>80</sup> Ćirović, Jovović i Luković, „Производна и тржишна вредност грађевинског објекта“, 261-286.

условљена и финансијском моћи потенцијалних купаца/корисника, односно ценом коју појединац може да плати.

Клијенти заинтересовани за зграде које у већој мери могу задовољити њихове потребе, односно унапредити квалитет њихових активности, уз истовремену редукацију трошкова коришћења и одржавања.<sup>81</sup> Наведено указује на пораст свести о основној улози зграда које се данас, у теорији менаџмента, пре свега гледају као “омогућивачи”, који могу олакшати и унапредити процесе, али допринети и супротном.<sup>82</sup> Економичност зграде, односно њена корисност, у контексту претходног, мери се односом могућих/остварених ефеката - квалитета процеса и планираних/утрошених средстава за њихово остварење.

У табели су дати предложени индикатори за процену квалитета зграде у оквиру критеријума економских добробити за кориснике током фазе употребе зграде (Табела 4):

**Табела 4** - Критеријум економских добробити за кориснике током фазе употребе зграде – индикатори

<b>Критеријум економских добробити за кориснике током фазе употребе зграде - индикатори</b>	
трошкови коришћења и одржавања зграде	искоришћеност простора лакоћа одржавања зграде погодност простора за пренамену редукција оперативне енергије
корисност	однос трошкова коришћења и одржавања зграде и ефеката/квалитета процеса
финансијска пргиступачност	финансијска моћ купаца/корисника

[Извор: Табела аутора]

Индикатори у оквиру критеријума економских добробити за власнике/кориснике током фазе употребе, тичу се наведених аспеката искоришћености простора и редукације оперативне енергије, у оквиру критеријума заштите животне средине током животног циклуса зграде, као и наведених аспеката лакоће одржавања зграде и погодности простора за пренамену, у оквиру критеријума социјалних добробити за кориснике током фазе употребе зграде.

<sup>81</sup> Construction Task Force, *Rethinking Construction* (Report of the Construction Industry Task Force, London, 1998).

<sup>82</sup> McDougall, Kelly, Hinks, and Bititci, „Performance measurement tools for assessing buildings“, 42 – 153.



#### 1.2.1.4 Вишеструки ефекти и значај индикатора

Наведени индикатори еколошког квалитета разликују се од традиционалних индикатора социјалних и економских добробити и индикатора заштите животне средине, који указују на стање у појединим сегментима, не сагледавајући њихове међусобне повезаности и условљености. Једно питање може имати ефекте на различите области. У процесу вредновања зграда веома је битно препознавање ових вишеструких ефеката. У оквиру извештаја пројекта SuPerBuildings, наведен је пример појединих вишеструких ефеката примене боје у згради (Табела 5):

Табела 5 - Пример појединих вишеструких ефеката примене боје у згради

У моменту апликације ослобађа одређену количину хемијских супстанци у ваздух	Енвајронментални
Због тога доприноси квалитету ваздуха у унутрашњем простору и самим тим комфору корисника	Социјални
Има ефекат на здравље и благостање корисника – може да има мерљиви ефекат на здравље, чак и на дужину животног века	Социјални
Здравље и благостање индивидуалног корисника има ефекат на његову продуктивност	Економски
Продуктивност индивидуалног корисника има ефекат на продуктивност компаније	Економски
Продуктивност компаније може утицати на економски потенцијал зграде и тиме на њену економску одрживост	Економски

[Извор: T. Lützkendorf and A. Immendoerfer, *SuPerBuildings* WP 4.1 - Concept and Framework Final Report, 2010, 31]

Значај појединачних индикатора еколошког квалитета, у оквиру наведених група, не може бити константан, нити једнак за различите области, односно за различите људске екосистеме, са њиховим специфичним ресурсима и друштвеном структуром. Потребно је увек изнова утврђивати њихов значај у складу са локалним климатским условима и природним ресурсима, локалним социјалним и културним условима, као и локалном економијом, који се динамично мењају. У том смислу, процена еколошког квалитета зграда условљена је локалном средином и њеним специфичностима, у датом временском контексту.<sup>83</sup>

<sup>83</sup> Schultmann, Sunke, and Krüger, „Global Performance Assessment of Buildings“, in *Proceedings of the 3rd CIB International conference - SASBE2009* (Delft: Delft University of Technology, 2009).

Међутим, при утврђивању значаја три наведене групе индикатора еколошког квалитета, главни циљ је успостављање равнотеже између три стуба одрживог развоја, односно придавање једнаког значаја групама индикатора заштите животне средине, социјалних добробити и економских добробити. Наведено је посебно важно у контексту пораста свести о ограниченим појединим капацитетима природе, као и свести да развој који се заснива на задовољењу неаутентичних људских потреба, не водећи рачуна о расположивим ресурсима, неминовно сужава простор свог деловања. Неопходна је промена глобалне филозофије, где ће се кроз креативност и иновације изнаћи нове развојне стратегије засноване на поштовању капацитета подношења глобалног екосистема, посебно имајући у виду да је криза животне средине последица начина на који поједина друштва „осмишљавају, обликују и представљају своју културу“.<sup>84</sup>

---

<sup>84</sup> Blagojević i Ćirović, „Klimatske promene i estetika savremene arhitekture“, 24.

# ИНТЕГРИСАНО ПРОЈЕКТОВАЊЕ КОНСТРУКЦИЈА

## 2.1 Интегрисано пројектовање зграда

Индикатори у оквиру обрађених критеријума за процену еколошког квалитета зграда, поред тога што су основ за интегралну процену квалитета пројектованих решења, преко квантитативне и квалитативне процене нивоа пројектованих и постигнутих перформанси, узимају се као основ за дефинисање интегрисаних пројектних циљева, како би се обезбедио еколошки квалитет зграде, односно оптимизовале њене перформансе у контексту одрживости. „Процес пројектовања заснованог на перформансама је процес у коме се захтеви за перформансама транслирају и интегришу у решење зграде“.<sup>85</sup> Процес интегрисаног пројектовања се заснива на начелу контекстуалности, које подразумева да свако решење произилази из њему својственог скупа параметара. Поред интегрисаних пројектних циљева, који се могу сматрати глобалним, на исходе ће утицати и услови локалне средине, који се могу тумачити као ограничења, али и као потенцијали.

Пројектовање засновано на перформансама, у контексту одрживости, дефинише се као интегрисано пројектовање чији су исход зграде које „успешно изводе своју функцију“,<sup>86</sup> у складу са свим аспектима одрживости, социјалним, економским и аспектима заштите животне средине. У питању је холистичком приступ<sup>87</sup>, који захтева системско мишљење и континуирану интеракцију свих учесника у процесу пројектовања. Традиционални, линеарни процес пројектовања зграда, који подразумева да архитекта „произведе концепт, док сви остали покушавају да ствари око њега прораде“,<sup>88</sup> у интегрисаном приступу пројектовању доживљава трансформацију. Интегрисано пројектовање се заснива на мултидисциплинарном тиму (клијент, архитекта, грађевински инжењер, машински инжењер, електроинжењер, извођач радова...), чији чланови доносе одлуке заједно, у

---

<sup>85</sup> Spekkink, EGM architecten, Spekkink C&R, *Performance Based Design of Buildings*, 5.

<sup>86</sup> Patel, *Integrated Design*, 1.

<sup>87</sup> Термин холизам (од грчке речи холос, ὅλος - целина) сковао је Џен Сметс, у књизи „Холизам и еволуција“, издатај у Лондону 1926. године. Сметс је дефинисао холизам као теорију по којој је целина више него збир њених саставних делова.

<sup>88</sup> Patel, *Integrated Design*, 1.

складу са заједничком визијом и холистичким разумевањем пројекта.<sup>89</sup> У овом процесу архитекта постаје стратешки организатор многоструких, често различитих форми знања и процеса.<sup>90</sup> Комплетни пројектантски тим је укључен у процес пројектовања од самог почетка, што омогућава ране промене и унапређења, која се у раним фазама лако остварују, док су све мање могуће како процес напредује.

Интегрисано пројектовање, као холистички приступ, је процес „отворен за креативна и иновативна решења“ „На почетку ниједна информација о крајњем резултату није доступна“.<sup>91</sup> Стваралачки поступак, у оквиру овог не прескриптивног приступа, не треба „разумети као одређену матрицу засновану на унапред утврђеним подацима, рационалном знању и коначно утврђеним етапама истраживачког поступка. Овај појам је више везан за посебно успостављен теоријски и концептуални оквир, који дозвољава флексибилност у индивидуалним приступима и који се пре свега користи постојећим обликованим искуством и интуицијом и који не кочи основне стваралачке импулсе, интуицију и имагинацију“.<sup>92</sup> Реч је о комплексном теоријском и концептуалном оквиру, као „јединственом скупу теоријских, практичних, енвајронменталних, економских, политичких, социјалних и културолошких параметара“ на којима почива архитектура.<sup>93</sup> Интегрисано пројектовање подразумева истраживање комплексних условљености многоструких аспеката, из којих, у нелинеарном, итеративном процесу, произилазе идеје.<sup>94</sup> Из идеја, које имају унутрашњу диференцијацију и мултиплицитет,<sup>95</sup> даље произилазе концепти, као појединачни ентитети. У процесу стварања одговорне архитектуре, концепти се вреднују кроз агрегацију чињеничних и вредносних судова. Концепти се пореде са постављеним интегрисаним критеријумима, односно квантитативним и квалитативним индикаторима еколошког квалитета.

---

<sup>89</sup> Ritchie, „Synthetic Thinking between Engineers, Architects and Developers“, in *Redefining the Design Team* (Cambridge: Interdisciplinary Design for the Built Environment, 1995); Busby Perkins+Will and Stantec Consulting, *Roadmap for the Integrated Design Process, Part one: Summary Guide* (BC Green Building Roundtable, 2007).

<sup>90</sup> Moe, *Integrated Design in Contemporary Architecture*, 6-7.

<sup>91</sup> Spekkink, EGM architecten, Spekkink C&R, 32.

<sup>92</sup> Mako, *Estetika – Arhitektura*, 110.

<sup>93</sup> Moe, 6.

<sup>94</sup> Knudstrup, „Integrated Design Process in Problem-based Learning“, 221-234.

<sup>95</sup> Gilles Deleuze and Felix Guattari, *A Thousand Plateaus: Capitalism and Schizophrenia* (University of Minnesota Press, 1987).

У процесу интегрисаног пројектовања, иницијалне претпоставке и финално вредновање зависе пре свега од критичког осећаја и искуства, посебно имајући у виду да „тотални захтев зграде не може никада бити математички изражен“.<sup>96</sup> „Не постоји валидан, стандардизован метод за предвиђање укупних перформанси зграде“, обзиром на то да „укупне перформансе зависе од комплексне инетракције многих утицаја“.<sup>97</sup> „Архитектура генерално одбија механичку перцепцију зграда као функционалних склопова који одговарају картезијанским детерминистичким ограничењима. Уместо тога зграде се разматрају као органски ентитети укључени у комплексну интеракцију са њиховим станарима, њиховим контекстом, окружењем, и чак унутар њихових сопствених система“.<sup>98</sup> У процесу интегрисаног пројектовања, које подразумева критичко разумевање темељних узрока, одлучивање постаје уметност изналажења најбољег компромиса, са циљем оптимизовања перформанси зграде као целине, а не оптимизовања њених појединачних компоненти.

Интегрална процена квалитета планираних зграда током животног циклуса, односно процена еколошког квалитета зграда, као део процеса пројектовања, постаје све значајнија са порастом свести о томе да је „пројектовање је у основи проблема односа људи и животне средине и промене тих односа“.<sup>99</sup> „На много начина криза животне средине је пројектантска криза. То је последица начина на који су ствари направљене, објекти изграђени и предели коришћени“.<sup>100</sup> „Интегрисано пројектовање ... је есенцијално и има много тога што треба научити о алатима и вештинама које су нам потребне“.<sup>101</sup> „Наука је подељена у делове, али разумевање је холистичко... Досегли смо тачку у еволуцији када знамо много, а разумемо врло мало“.<sup>102</sup>

---

<sup>96</sup> Leupen et al. *Design and Analysis*, 107.

<sup>97</sup> Spekkink, EGM architecten, Spekkink C&R, 45.

<sup>98</sup> Bachman, *Integrated Buildings*, 12.

<sup>99</sup> Blagojević i Ćirović, 24.

<sup>100</sup> Van Der Ryn and Cowan, 24.

<sup>101</sup> Peter Head, „Comments on Professor Laura Lee's Final Report“. Quoted at Adelaide Thinkers in Residence, Accessed July 13, 2011. <http://www.thinkers.sa.gov.au/Thinkers/Lee/finalreport.aspx>

<sup>102</sup> Manfred, „The barefoot economist“, 8-9.

### 2.1.1 Интегрисано пројектовање конструкција

Конструкција зграде, заједно са осталим елементима архитектонског простора, одређује перформансе зграде, односно њен квалитет током животног циклуса. Како би се реализовао еколошки квалитет зграде, конструкција треба да буде пројектована према захтевима којима треба да удовољи зграда као целина. Пројектовање конструкције треба да буде засновано на циљаним интегрисаним перформансама зграде током њеног животног циклуса.

Пројектовање конструкција прескриптивне природе, у оквиру линеарног, редуccionистичког приступа пројектовању зграда, често се своди на избор стандардних конструктивних система, као и на избор стандардних материјала и њихових комбинација, са примарним циљем оптимизовања цене градње и елементарног задовољења услова сигурности. Међутим, процес интегрисаног пројектовања укључује нове параметре, који раније нису били релевантни при пројектовању конструкција. У том смислу, у процесу интегрисаног пројектовања, кључно је промишљање изван установљених решења, са циљем остварења бољих перформанси зграде током животног циклуса, обзиром на то да „прескриптивни приступ може обезбедити мањи ризик, али такође може водити и ка редукованим предностима“,<sup>103</sup> односно ка мањем еколошком квалитету зграда током њиховог животног века.

У процесу интегрисаног пројектовања зграда посебно је значајно да се идеја о конструкцији, њеној форми и материјалима, рађа истовремено са идејом о згради. „Материјал треба да прати пројектовање од иницијалне фазе, зато што он представља почетну тачку, пре него дестинацију техничког и формалног резонувања“.<sup>104</sup> Рано разматрање материјалних аспеката је посебно значајно у случају пројектованих/комполитних материјала и склопова, обзиром на могућност пројектовања перформанси у складу са специфичним захтевима. Многострукост захтева који се тичу перформанси зграда у контексту одрживости, често резултира формом конструкције где више није приоритет правилност и подређеност геометрији

---

<sup>103</sup> Schwitter, „Engineering Complexity: Performance-Based Design in Use“, 114.

<sup>104</sup> Angrisani, „Space and architecture“. Quoted in Mozaikci, „Material`s Interactions with Structural Form“, 17.

основних тела.<sup>105</sup> Реализацију ових решења и њихову економску исплативост омогућава флексибилна и диверсификована, рачунарски интегрисана производња. У том контексту, „питање стандардног и специфичног није више питање техничке могућности већ пре концепта и опште идеје...разматрање могућег није толико везано за техничко, колико за концептуално и естетско, што условљава шире поље градитељства, где су критеријуми у избору појединачног концепта везани за шире постављене обрасце размишљања“.<sup>106</sup>

У новом технолошком окружењу, процес стварања конструкције, који спаја креативни рад и тестирање претпостављених ефеката, потпомогнут је новим компјутерски подржаним техникама цртања, нумеричке анализе и лабораторијског тестирања пројектованих решења. Изазов у ефективној примени наведених техника је њихова адаптираност за специфичне проблеме. У методама нумеричке анализе конструкција, кључна је примена одговарајуће теорије, односно адекватне математичке формулације реалног физичког проблема. Свака математичка формулација мора бити интуитивно вреднована, кроз процес невербалног, визуелног мишљења, јер игнорисање овог наслеђа невербалног мишљења може водити ка опасном игнорисању многих начина на који се стварни свет разликује од математичких модела.<sup>107</sup> У процесу пројектовања не сме се заборавити да ни „најбољи компјутерски алати не нуде пројектантска решења...одговорност је пројектанта да обезбеди квалитет и кохерентност у процесу пројектовања“.<sup>108</sup> Такође, по Пјер Луиђи Нервију, у процесу пројектовања конструкције „најнапреднија теорија конструкција...може бити употребљена само за нумеричку анализу конструкције која је већ испројектована...формативна фаза пројектовања, током које се сви квалитети и грешке одређени једном заувек, не може да користи теорију конструкција и мора прибећи интуицији и шематским симплификацијама“.<sup>109</sup> Нерви наглашава улогу интуиције и у процесу пројектовања композитних материјала, односно армираног бетона, имајућу на уму да армирани бетон „има специфичне карактеристике које чине тешким предвиђање његовог механичког понашања, ако не

---

<sup>105</sup> Cecil Balmond and Jannuzzi Smith, *Informal* (London: Prestel, 2007).

<sup>106</sup> Maksimović, *Arhitektura i.*, 126.

<sup>107</sup> Eugene Ferguson, *Engineering and the Mind's Eye* (MIT Press, 1992).

<sup>108</sup> Schwitter, 122.

<sup>109</sup> Nervi, Structures. Quoted in Leupen et al., *Design and Analysis*, 118.

и немогућим“.<sup>110</sup> Имајући у виду неодређености које прате процес пројектовања конструкција, Едуардо Тороха у књизи „Филозофија конструкција“ констатује: „Пројектовање конструкција тиче се много више од науке и технике: оно се такође веома много тиче и уметности, здравог разума, осећања, талента...“.<sup>111</sup>

Интегрисано пројектовање конструкција, има за циљ унапређење укупних перформанси зграде, где форма конструкције и примењени материјали, произилазе из захтева за перформансама зграде као целине. Механичко понашање конструкције, односно њене механичке перформансе, условљене формом и примењеним материјалима, треба да буду такве да се задовољи примарни захтев за сигурношћу зграда. Међутим, форма конструкције и примењени материјали, у процесу интегрисаног пројектовања зграда, нису производ само параметра механичке сигурности и механичке ефикасности, већ низа параметара који се тичу еколошког квалитета зграде. Обзиром на то да расте број утицајних фактора, мења се појам оптималног понашања конструкције, односно њених оптималних перформанси. Оптималне перформансе конструкције, односно појам ефикасности конструкције, више се не односи на елементарно задовољење услова сигурности, уз минимални утрошак материјала и минималну цену градње. У процесу интегрисаног пројектовања зграда, конструкција се не може разумети, а тиме и вредновати, без разумевања њене везе са специфичном функцијом архитектонског простора. Конструкција зграде мора бити посматрана као функционална јединица. Потребно је анализирати њен допринос перформансама зграде чији је саставни део, током животног циклуса. Вреднује се еколошки квалитет зграде, односно перформансе зграде које зависе од комплексне интеракције многоструких утицаја.

“Данас је уобичајено да пројектанти ... буду укључени у процес пројектовања посвећен одрживости. Они бивају учесници у процесу интегрисаног пројектовања зграда које често води ка иновацијама и конструктивним системима који можда нису структурални по својој природи, али доприносе укупној одрживости решења...пројектант може радити на смештању система за прикупљање кишнице у елементе носеће конструкције...или на конципирању система који користи термалну масу конструкције преко адекватно оријентисаног и обојеног бетона...наведено

---

<sup>110</sup> Nervi, *Structures*. Quoted in Huxtable, Pier Luigi Nervi, 18.

<sup>111</sup> Torroja, *Philosophy of Structures*, 1.



постаје могуће уколико су сви учесници у процесу интегрисаног пројектовања адекватно упознати са циљевима и процесима одрживог грађења”<sup>112</sup>

#### **2.1.1.1 Интегрисано пројектовање конструкција засновано на критеријуму заштите животне средине током животног циклуса зграде**

Пројектовање конструкције зграде у складу са интегрисаним пројектним циљевима, који произилазе из индикатора еколошког квалитета зграде, у оквиру критеријума заштите животне средине током животног циклуса зграде.

Општи циљ је смањење штетних емисија у ваздух, воду и земљиште, као и повећање ефикасности коришћења ресурса, односно смањење интензитета њиховог коришћења.

#### **Потенцијал глобалног загревања**

Емисије гасова, који праве ефекат стаклене баште и имају директне екотоксичне ефекте, се јављају у процесима производње енергије, заснованим на сагоревању фосилних горива и дрвета, потребне за оперисање зграда (оперативна енергија) и за производњу грађевинских материјала и производа (уграђена енергија), затим при сагоревању чврстог отпада, али и у хемијским реакцијама при производњи одређених материјала. Како би се редуковале штетне емисије потребно је следеће: ефикаснија употреба енергије и употреба енергије из обновљивих извора; адекватан избор материјала; редукација утицаја при транспорту, односно локални извори и производња материјала и енергетски ефикасни облици транспорта.

Ефекат гасова који праве ефекат стаклене баште мери се конвертовањем у такозване CO<sub>2</sub> еквиваленте.<sup>113</sup> CO<sub>2</sub> емисије које се тичу сагоревања фосилних горива само су део укупних CO<sub>2</sub> емисија које се тичу производње појединих материјала. При производњи цемента, део CO<sub>2</sub> емисија тиче се сагоревања фосилних горива, док се део јавља као последица хемијских реакција током његове производње.<sup>114</sup> Када је у питању редукација укупних CO<sub>2</sub> емисија везаних за производњу материјала, највећи изазов се ставља пред индустрију бетона, обзиром на то да је она одговорна за 8%

---

<sup>112</sup> Sustainability Guidelines for the Structural Engineer, 6.

<sup>113</sup> Један CO<sub>2</sub> еквивалент једнак је ефекту емисије 1 килограма CO<sub>2</sub>.

<sup>114</sup> Worrell et al., „Carbon Dioxide Emissions from the Global Cement Industry“, 303–329.

укупних емисија CO<sub>2</sub> на планети, а затим пред индустрију челика која је одговорна за 5%. Емисије CO<sub>2</sub> везане за употребу бетона последица су примарно производње цемента.

Цементна индустрија, обзиром на светску потрошњу бетона од 20.000 милиона тона годишње, односно потрошњу од 2.300 милиона тона цемента, током чије производње се ослобађа 1.25 тона CO<sub>2</sub> по тони, одговорна је за 8% укупних емисија CO<sub>2</sub> на планети. Један од начина да се редукују наведени утицаји је редукација укупне потрошње бетона. Затим, могуће је редуковати потрошњу цемента у мешавини истовременим повећањем количине агрегата и умањењем количине воде (уз евентуалну употребу суперпластификатора), што уједно повећава трајност и чврстоћу бетона. Количину цемента могуће је редуковати и употребом агрегата веће величине и грубљег песка, односно агрегата мање површине, чиме се смањује потребна количина цементне пасте. Такође, редукацију утицаја могуће је остварити употребом алтернативних сировина у процесу производње цементног клинкера<sup>115</sup> или делимичном супституцијом цементног клинкера материјалима из индустријског отпада сличних особина, као што су гранулисана згура високих пећи, електрофилтерски пепео из термоелектрана, силикатна прашина и др.<sup>116</sup> На овај начин редукују се и негативни утицаји који се јављају као последица одлагања ових материјала на депоније,<sup>117</sup> који се тичу загађења ваздуха и водотокова, док се истовремено редукује и потрошња примарних необновљивих сировина.<sup>118</sup>

Поред употребе алтернативних сировина, редукацију потрошње енергије и редукацију CO<sub>2</sub> емисија, могуће је остварити и додавањем до 15% кречњака бетонским мешавинама. Додавање кречњака има позитивне ефекте на корозионе перформансе бетона.<sup>119</sup>

Када су у питању армиранобетонске или челичне конструкције, редукацију емисија могуће је остварити применом рециклираног челика, обзиром на то да су при

---

<sup>115</sup> Mehta, & Meryman, „Tools for Reducing Carbon Emissions Due to Cement Consumption“, 1-15.

<sup>116</sup> Свака тона клинкера која се замени алтернативним сировинама, смањује емисију CO<sub>2</sub> за око 0,8t.

<sup>117</sup> У Србији на 1400 хектара лежи 200 милиона кубних метара искористивог пепела, а сваке године се одложи на депоније нових 6 милиона тона. (Zoran Majdin, „Još nam samo zakon fali“, *Vreme*, br. 1073, 28. jul, 2011).

<sup>118</sup> Brzaković, „Leteći pepeli iz Jugoslovenskih termoelektrana“, 5-22; Jovanović i dr., „Supstitucija glinovite mineralne komponente lignitskim elektrofilterskim pepelom pri sintezi portland-cementnog klinkera“, 253-258.

<sup>119</sup> Tsivilis et al., „Properties of Portland limestone cements and concrete“, 371–378; Tsivilis et al., „The permeability of Portland limestone cement concrete“, 1465–1471.

рециклажи челика CO<sub>2</sub> емисије и до 80% мање, у односу на емисије при производњи челика из руде гвожђа. На овај начин се поред редукације CO<sub>2</sub> емисија, редукује и количина чврстог отпада у форми згуре, муља и прашине, односно количина опасног отпада (индустрија челика је одговорна за 4% опасног отпада), који може садржати токсине, канцерогене и мутагене.

### **Потенцијал оштећења озонског омотача у стратосфери**

Емисије гасова који доводе до оштећења озонског омотача су везане за процесе расхлађивања у зградама, али и за процесе производње појединих грађевинских материјала, као и процесе сагоревања фосилних горива. Како би се редуковале штетне емисије потребна је редукација употребе расхладних система и уређаја на бази употребе фреона, као и употреба расхладних средстава са мањим потенцијалном за оштећење озонског омотача. Такође, потребан је адекватан избор материјала. Поједини материјали, примењени у сендвич конструкцијама или као пуниоци (експандирани полистирен), могу бити засновани на употреби CFC, HCFCs или HFCs агенаса, који имају негативан ефекат на озонски омотач.<sup>120</sup>

### **Потенцијал за повећање киселости**

Емисије гасова који узрокују повећање киселости средине јављају се у процесима производње енергије заснованим на сагоревању фосилних горива (уграђена и оперативна енергија зграда). Ацидификација се одражава на квалитет воде, ваздуха и земљишта, што за последицу има негативне здравствене ефекте на биолошке ресурсе, али и брже пропадање зграда и других добара. Киселе кише и суви депозит киселих честица изазивају корозију метала (челик и др.) и оштећења боје и камена (мермер, кречњак). Како би се редуковале штетне емисије потребна је ефикаснија употреба енергије, као и употреба енергије из обновљивих извора.

### **Потенцијал еутрофикације**

Процес еутрофикације је повезан са повећањем садржаја нутрицијената, азота и фосфора у земљишту и води, као последица испуштања отпадних вода и сагоревања фосилних горива. Наведене материје ремете равнотежу екосистема и

---

<sup>120</sup> UNEP Ozone Secretariat. *Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer*, 2010.

угрожавају биолошке ресурсе. Потребно је увођење система за пречишћавање отпадних вода, како би се редуковао унос хранљивих материја у водене системе. Такође, потребна је ефикаснија употреба енергије и употреба енергије из обновљивих извора.

### **Потенцијал фотохемијског формирања озона у тропосфери**

Угљоводоници, чије су емисије последице непотпуног сагоревања горива и његовог испаравања при транспорту, као и азотни оксиди који настају при сагоревању фосилних горива, уз помоћ радијације сунца, примарно лети, стварају приземни озон, познат као летњи смог, који има негативне здравствене ефекте на биолошке ресурсе. Обзиром на неравномерну распоређеност ресурса, као и пораст урбаних зона, сировине и грађевински производи се често транспортују на велике дистанце. Велика тежина појединих сировина и производа (камен, шљунак и песак, опекарски производи) ствара додатни притисак на животну средину, обзиром на већу потрошњу горива. Потребно је редуковати утицаја при транспорту, коришћењем локалних сировина и производа, као и коришћењем енергетски ефикаснијих облика транспорта. Такође, потребна је ефикаснија употреба енергије и употреба енергије из обновљивих извора.

### **Захтев за примарном енергијом из необновљивих извора**

Примарна енергија представља сирову енергију пре трансформације. Циљ је редуковање удела енергије обезбеђене из необновљивих извора, тј. минимизација употребе ограничених ресурса (фосилних горива и нуклеарне енергије).

### **Захтев за укупном примарном енергијом и удео примарне енергије из обновљивих извора**

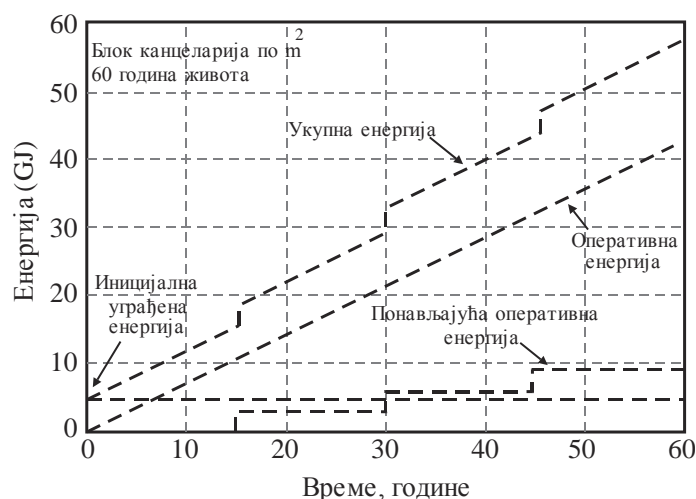
Циљ је смањење захтева за укупном примарном енергијом, односно ефикаснија употреба енергије, али и повећање удела примарне енергије обезбеђене из обновљивих извора, што ће смањити захтеве за примарном енергијом из необновљивих извора.

Повећање енергетске ефикасности зграде током животног циклуса, тиче се смањења захтева за примарном енергијом из необновљивих извора, које је могуће остварити кроз повећање удела примарне енергије обезбеђене из обновљивих извора

и кроз редукцију укупне потрошње енергије, уграђене и оперативне, током животног циклуса зграде.

Уграђена енергија грађевинских материјала и елемената представља потрошену количину енергије током њиховог животног циклуса, добијене сагоревањем фосилних горива. У том смислу, уграђена енергија је у корелацији са CO<sub>2</sub> емисијама. Уграђена енергија се односи на иницијалну уграђену енергију утрошену на добијање сировина, њихово процесирање, производњу материјала и елемената, транспорт у овим фазама, затим на енергију за транспорт до места уградње и уграђивање материјала и елемената, као и на уграђену енергију током фазе ефективне експлоатације зграде, која се односи на материјале и елементе потребне за одржавање, поправку, обнову, адаптацију или реконструкцију.<sup>121</sup>

У просечно енергетски ефикасним зградама, уграђена енергија чини приближно 20% укупне потрошње енергије током животног циклуса зграда. У оквиру ових 20%, приближно 10% чини иницијална уграђена енергија, а 10% уграђена енергија током фазе употребе зграде (Слика 4).<sup>122</sup>



Слика 4. Начин како потрошња енергије расте током животног циклуса зграде. [Извор: М. F. Ashby, *Materials and the Environment: Eco-Informed Material Choice* (Elsevier, 2012), 285]

Са порастом енергетске ефикасности зграда, односи уграђене и оперативне енергије ће се мењати.<sup>123</sup> У том смислу, питање уграђене енергије зграда ће временом

<sup>121</sup> Сабирањем вредности уграђене енергије за све употребљене грађевинске материјале и елементе током животног циклуса зграде, добија се вредност уграђене енергије целе зграде (MJ/kg) (GJ/kg).

<sup>122</sup> Ashby, *Materials and the Environment: Eco-Informed Material Choice*, 285.

<sup>123</sup> За енергетски ефикасан стан у Шведској, током животног века од 50 година, уграђена енергија износи 45% укупних енергетских захтева (Thormark, „A low energy building in a life cycle“, 429-435).

добити на значају, посебно уколико зграде буду употребљаване током пројектованог века.

Уграђена енергија конструкције чини око 25% укупне уграђене енергије зграда.<sup>124</sup> Иницијалне уграђене енергије материјала који се најчешће користе за израду носећих конструкција су: бетон 1-2MJ/kg (1 за бетон уграђен на лицу места, 2 за префабриковани), цементни малтер 2MJ/kg, дрво 2-8MJ/kg (мање или више процесирано или третирано), ламелирано дрво 12MJ/kg, рециклирани челик 8-10MJ/kg, сирови челик 32-35MJ/kg, нерђајући челик 57MJ/kg, алуминијум 155MJ/kg, опека 3MJ/kg, експандирани полистирен 90MJ/kg (пуниоци). Емисије CO<sub>2</sub> су за бетон 0.03-0.06 kgC/kg, дрво 0.1-0.2 kgC/kg, рециклирани челик 0.12 kgC/kg и 0.75 kgC/kg за сирови челик.<sup>125</sup> Мању иницијалну уграђену енергију имају мање процесирани материјали и елементи конструкције, као и материјали и елементи конструкције обезбеђени из секундарних сировина. Такође, мању иницијалну уграђену енергију имају материјали и елементи конструкције обезбеђени из локалних извора, као и они чији се уградња не заснива на примени тешке механизације.

Временом, уграђена енергија током фазе употребе зграде, која се односи на материјале и елементе потребне за одржавање, поправку, обнову, адаптацију или реконструкцију, може бити и до 2-3 пута већа од иницијалне. Редукцију уграђене енергије у овој фази животног циклуса зграде, могуће је постићи кроз обезбеђење трајности носеће конструкције, уз минимум одржавања, као и кроз решење конструкције које обезбеђује адаптивност простора без радикалних интервенција на нивоу конструкције. Наведено је посебно значајно у случају пословних објеката, које одликују учестале промене намене.

Повећањем ефикасности зграде и њених система могуће је редуковати потрошњу оперативне енергије.<sup>126</sup> Пројектантским интервенцијама може се значајно редуковати енергија потребна за грејање, хлађење и вентилацију зграде, на коју уједно одлази и највећи проценат укупно потрошене оперативне енергије (~50% од

---

<sup>124</sup> Cole and Kernan, „Life-Cycle Energy Use in Office Buildings“, 310-311.

<sup>125</sup> Hammond and Jones, *Inventory of Carbon and Energy*; Hammond and Jones, „Embodied energy and carbon in construction materials“, 87-98.

<sup>126</sup> У нашој земљи је питање стратегија за редуковање потрошње оперативне енергије посебно значајно, обзиром на то да је просечна потрошња енергије у зградама преко 150 kWh/m<sup>2</sup> годишње, што је и до три пута више од потрошње у развијеним европским земљама (испод 50 kWh/m<sup>2</sup> годишње) (Šumarac, „Energy Efficiency of Buildings in Serbia“, 11–29; Šumarac i dr., „Energy Efficiency of Residential Buildings in Serbia“, 97-113.

укупне потрошње енергије у зградама).<sup>127</sup> Треба имати у виду да минимизовање потрошње енергије у згради мора бити постигнуто на начин који осигурава адекватне климатске и здравствене услове за кориснике.

Потребно је осигурати топлотну стабилност зграде уз минимално учешће активних система грејања и хлађења простора, односно уз минималну потрошњу енергетских ресурса, посебно из необновљивих извора. У процесу унапређења енергетске ефикасности зграде посебно је значајан аспект планирања и оптимизације токова топлоте, у коме аспекти обликовања архитектонских простора и његове материјализације играју кључну улогу. “Уместо да смешта аутономан машински систем, сама зграда може деловати као термални систем”.<sup>128</sup> Како би се реализовало претходно, при пројектовању је потребно анализирати зграду као целину, односно као термални систем који интерреагује са окружењем преко процеса преноса топлоте и протока флуида. У том контексту, енергетски одговорно планирање и пројектовање започиње разматрањем урбанистичких фактора, који обухватају анализу утицаја локалне климе и предела на позиционирање објекта и дефинисање прелиминарних форми.<sup>129</sup> Процес се затим наставља изналажењем архитектонских и техничко-технолошких решења, међу којима је и решење конструктивног склопа, односно дефинисање његове форме и примењених материјала. Интервенције на нивоу форме конструкције и примењених материјала, са циљем оптимизације токова топлоте и флуида, односно минимизовања температурних флукуација у унутрашњим просторима, односе се на комбинацију редукције топлотне кондукције и конвекције, и адекватне топлотне масе.

Лимитирање коефицијента пролаза топлоте  $U_{max}$  [ $W/(m^2 \times K)$ ],<sup>130</sup> који представља термоизолационо својство елемента зграде, је најчешћи захтев који се тиче термалних перформанси зграда.<sup>131</sup> За поређење конструктивних склопова

---

<sup>127</sup> Pérez-Lombard, Ortiz, and Pout, „Buildings energy consumption information“, 394-398.

<sup>128</sup> Heschong, *Thermal Delight in Architecture*, VIII.

<sup>129</sup> Marić i Kovačević, „Principi bioklimatske arhitekture primenjeni u projektu Spa centra“, 87-101.

<sup>130</sup> Спољни зид - 0.3; Зидови и међуспратне конструкције између грејаних простора- 0.9; Кров изнад грејаног простора - 0.15

<sup>131</sup> Europe's buildings under the microscope, 83.

погодна је и реципрочна вредност коефицијента пролаза топлоте  $U$ , односно топлотна отпорност  $R=1/U$ .<sup>132</sup>

Међутим, ниједна од наведених вредности ( $U$ ,  $R$ ) често није довољна при вредновању енергетских перформанси сложених конструктивних склопова, где индивидуални слојеви често нису конзистентни дуж целокупне површине структуре. Са аспекта целокупне површине структуре,  $R$  - вредности могу бити релевантне само уколико не постоје топлотни мостови, односно уколико су они минимални. Проблем топлотних мостова посебно је изражен у случају конструктивних склопова формираних од линијских носећих елемената са изолационом испуном. Код оваквих склопова  $R$ -вредност целокупне површине може бити мања од  $R$ -вредности дате за јединицу површине изолационе испуне. Редукција  $R$ -вредности је посебно изражена уколико склопови имају висок „оквирни фактор“ („framing factor“), односно висок удео површине носача у укупној површини структуре<sup>133</sup> и уколико су носачи израђени од материјала са великом топлотном проводљивошћу, као што је челик. Имајући у виду наведено, поред лимитирања  $U$ -вредности, прописи појединих земаља дефинишу и максималне дозвољене вредности за топлотне мостове, обзиром на то да они могу значајно повећати енергетске захтеве за грејање и хлађење зграде.<sup>134</sup> Поред топлотних губитака, додатни проблем везан за топлотне мостове, који је изражен у хладним климатским условима током грејне сезоне, је појава влаге. Влага може додатно редуковати термоизолациона својства изолационих материјала, водити ка развоју буђи и убрзати пропадање носеће конструкције.

Поред лимитирања коефицијента пролаза топлоте, нови стандарди везани за енергетску ефикасност зграда инсистирају на све већој заптивености зграда, која се мери бројем измена ваздуха на сат. У случају недовољне заптивености склопа настају топлотни губици, као резултат топлотне конвекције, односно цурења ваздуха. Степен цурења ваздуха је између осталог условљен и решењем конструктивног склопа, његовом формом и примењеним материјалима. Цурење ваздуха се најчешће одвија у зони веза између појединачних елемената конструктивног склопа. Генерално, када је у питању цурење ваздуха, осетљивији су не-монолитни конструктивни склопови, а

---

<sup>132</sup>  $R [(m^2 \times K) / W]$  – вредност се рачуна као количник дебљине слоја и топлотне проводљивости материјала  $R=d/\lambda$ . За елемент зграде топлотна отпорност је дата изразом:  $\Sigma R = R1 + R2 + \dots + Rn$

<sup>133</sup> Sustainability Guidelines for the Structural Engineer, 206.

<sup>134</sup> Europe's buildings under the microscope, 85.



посебно склопови израђени од материјала који су у погледу димензионалне стабилности осетљиви на утицаје влажења и исушивања.

Поред редукације топлотне кондукције и конвекције, једна од стратегија за уштеду енергије потребне за грејање и хлађење зграда, као и за минимизовање температурних осцилација у унутрашњим просторима, је формирање конструкције са одговарајућом топлотном масом. Топлотна маса конструкције је њена способност да акумулира топлоту и да је затим постепено ослобађа, односно способност конструкције да складишти топлоту.<sup>135</sup> Конструктивни материјали који имају потенцијал складиштења топлоте, су бетон и материјали на бази глине. Дрво и челик имају мали потенцијал складиштења топлоте.

Конструкција сачињена од материјала са високим потенцијалом складиштења топлоте, може, уколико је адекватно топлотно изолована од спољног простора, а изложена ка унутрашњим просторима и адекватно димензионисана и позиционирана, ефективно регулисати дневни проток топлотне енергије. Изложеност конструкције у унутрашњим просторима подразумева непостојање слојева који термички изолују конструкцију од унутрашњих простора (спуштени плафони, гипсане облоге, пуниоци од изолационих материјала). У случају умерено континенталне климе, зими, у оквиру стратегије грејања, конструкција током дана треба да акумулира топлоту, а затим да је током ноћи ослобађа у унутрашње просторе. Лети, у оквиру стратегије хлађења, конструкција током дана треба да акумулира топлоту, која преко ноћи треба да буде ослобођена, путем контакта са спољним хладним ноћним ваздухом, односно путем природне или принудне вентилације. Неадекватна употреба термалне масе конструкције може водити ка лошијим термалним условима, односно отежаном успостављању адекватног топлотног комфора, посебно у условима дуготрајних високих температура и условима који не омогућавају њено ефикасно хлађење. Такође, у појединим случајевима, у зимском режиму, термална маса може повећати енергетске захтеве, уколико не постоји довољни сунчев захват. У том смислу, како би се топлотна маса конструкције адекватно искористила потребно је разматрање

---

<sup>135</sup> Топлотна маса конструкције је условљена густином примењених материјала, специфичним топлотним капацитетом материјала  $c$  [ $J/(kgK)$ ] (количина топлоте која је потребна за загревање  $1kg$  супстанце за  $1K$ ), топлотном проводљивошћу материјала и дебљином елемента. Вредност топлотног капацитета по јединици површине конструкције  $k$  ( $kJ/K$  по  $m^2$ ) рачуна се за дебљину до  $d_{max}=10cm$ , за коју се конструкција може сматрати топлотно активном (EN ISO 13790).

бројних параметара током процеса пројектовања зграде, међу којима су: локални климатски услови, оријентација и геометрија зграде, ниво и начин изолације зграде, положај и величина прозора, засенчења, величина и распоред просторија, намене простора, механизми вентилације зграде, врсте осветљења простора, боје површина.<sup>136</sup>

Боја елемената конструкције утиче на степен рефлексије соларне енергије (албедо), односно на ниво топлотне апсорпције, а тиме и на топлотне перформансе конструкције. Уколико су боје светле, може бити рефлектовано и до 90% соларне енергије, док се у случају тамних боја рефлектује мање од 15%. У том смислу, боја видних елемената конструкције је значајан фактор у оптимизовању топлотних перформанси зграде.<sup>137</sup>

Када је у питању редукација потребне енергије за грејање и хлађење простора, повољне су конструкције у оквиру чијег простора могу бити интегрисане машинске, електро и инсталације осветљења<sup>138</sup>, са циљем редуковања спратне висине, односно површине фасаде зграде кроз коју се остварују највећи енергетски губици.

Један у низу примера зграда конципираних кроз процес интегрисаног пројектовања, у оквиру које је конструкција пројектована не само у складу са условима носивости, већ и са циљем оптимизације токова топлоте и флуида, је и пословна зграда WAT-a, у граду Карлсруе у Немачкој, из 1995. године (Architekturbüro Günther Leonhardt), са оствареном потрошњом од 80kWh/m<sup>2</sup>.<sup>139</sup> Бетонске таванице зграде су изложене и играју улогу у регулацији температуре унутрашњих простора. Током зимских дана, ваздух претходно загрејан сунчевом енергијом (преко колектора на фасади) се принудно усмерава кроз канале смештене у бетонској таваници (Слика 5). Таваница делује као топлотно складиште из кога се кроз отворе топао ваздух уводи у просторије. Током лета канали у таваници служе за њено хлађење путем увођења свежег ноћног ваздуха у зони фасаде, који природним путем пролази кроз канале и кроз простор између два зида у средишту зграде.<sup>140</sup>

---

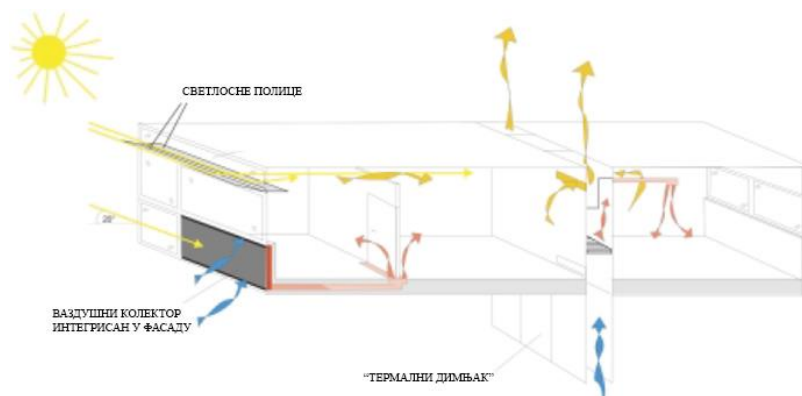
<sup>136</sup> The AIA Sustainability Discussion Group, *50»50 - SustAIAnability2030*, 115.

<sup>137</sup> Bansal et al., „Effect of Exterior Surface Color on the Thermal Performance of Buildings“, 31-37.

<sup>138</sup> Видети систем међуспратне конструкције HOLEDECK® (<http://holedeck.com/improvements>)

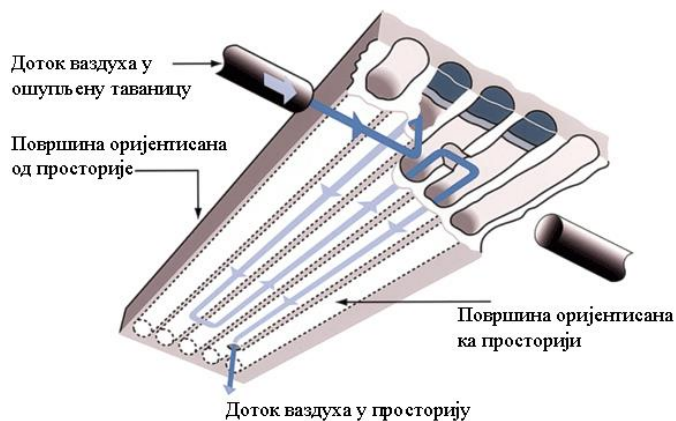
<sup>139</sup> У Србији често потрошња енергије у зградама достиже и до 250 kWh/m<sup>2</sup>.

<sup>140</sup> IEA Solar Heating and Cooling Task 23, *Examples of Integrated Design*, 27-29.



**Слика 5.** Приказ стратегије вентилације у зимском периоду, кроз аксонометријски пресек, примењене у пословној згради WAT-а, Карлсруе, Немачка, 1995., архитектонско решење Архитектонски биро Гинтер Леонард. [Извор: IEA Solar Heating and Cooling Task 23, *Examples of Integrated Design: Five Low Energy Buildings Created Through Integrated Design*, edited by G. van Cruchten, 2000, 29]

У згради школе за социјални рад, Елизабет Фру, из 1995. године, у Норвичу у Великој Британији, бетонске таванице су такође израђене као ошупљене и у њих је инкорпориран систем за вентилацију унутрашњих простора (**Слика 6**). Таванице су изложене и играју улогу у регулацији температуре унутрашњих простора, манипулисањем путањама ваздуха. Ваздух кружи кроз ошупљења пре него што уђе у просторију, чиме се користи термална маса бетонске плоче. Током лета шупљине се ноћу механички вентилирају како би се таванице ефикасније охладиле. Комбинација активних и пасивних система омогућава контролу ефеката термалне масе.



**Слика 6.** Кружење ваздуха кроз ошупљену TermoDeck таваницу [Извор: TermoDeck]

Обзиром на то да се кроз канале и отворе у конструкцији могу преносити и бука, дим и ватра, посебна пажња треба да буде посвећена адекватним токовима ваздуха уз истовремено очување акустичких и противпожарних перформанси. У случају изложених бетонских површина таваница, посебна пажња треба да буде посвећена акустичким захтевима, као и визуелним својствима изложеног бетона.

У оквиру пројекта пословне зграде компаније PowerGen (Ковентри, УК, 1994., архитектонско решење Bennetts Associates), примењена је пројектантска стратегија за редукују енергије потребне за грејање, хлађење и осветљење простора, заснована на примени пасивних техника. Избор материјала конструкције био је од кључног значаја. Армиранобетонска конструкција је предвиђена због термалне масе, која доприноси контроли унутрашње климе редукујући термалне скокове. Облик међуспратне таванице је произашао из захтева за остварењем адекватних акустичких, светлосних и термалних перформанси радних простора, као и из захтева за “елегантним” решењем.<sup>141</sup> Облик таванице био је повољан и са аспекта структуралне ефикасности (Слика 7). Како би се реализовале глатке површине изложеног бетона ливеног на лицу места, употребљене су специјално пројектоване оплате од пластике армиране стакленим влакнима, израђене по мери (Слика 8). Бетон је обојен белом емулзионом бојом, како би се појачала рефлексија захваћене дневне светлости ка унутрашњим просторима.



**Слика 7.** Армиранобетонска међуспратна таваница током изградње пословне зграде компаније PowerGen; Ковентри, УК, 1994., архитектонско решење Бенетс и сарадници. [Извор: В.Т. О'Неилл, Г. Шау и М. Флинн, *Project Profile: PowerGen Headquarters* (British Cement Association, 1996), 7]

**Слика 8.** Оплате за израду армиранобетонске међуспратне конструкције пословне зграде компаније PowerGen; Ковентри, УК, 1994., архитектонско решење Бенетс и сарадници. [Извор: В.Т. О'Неилл, Г. Шау и М. Флинн, *Project Profile: PowerGen Headquarters* (British Cement Association, 1996), 9]

У згради Градског већа у Свордсу у Ирској, чија је изградња завршена 2000. године, термална маса остварена је применом армиранобетонске конструкције. Зграда садржи 300 кубних метара бетона, који је већим делом остављен изложен у унутрашњем простору. Засвођене бетонске таванице изведене су у оплатама од

---

<sup>141</sup> O'Neill, Shaw, and Flynn, *Project Profile: PowerGen Headquarters*, 11.

фибергласа (GRP), које је по нацртима израдио градитељ бродова, што је омогућило реализацију елегантне форме галебовог крила и високо квалитетне завршне површине бетона (Слика 9). Стратегија за остварење светлосног комфора уз уштеду енергије је додатно унапређена применом унутрашњих елемената који рефлектују дневно светло, ухваћено помоћу спољних елемената, на високо рефлектујућу површину глатког бело обојеног бетона засвођене међуспратне конструкције, чиме се остварује адекватан светлосни комфор без појаве бљеска.<sup>142</sup> Бетонске плоче су закривљене на само са циљем остварења светлосног комфора, већ и са циљем повећања површине термалне апсорпције. Лети је бетонска маса хлађена ноћном вентилацијом, како би остала на нивоу испод собне температуре током дана и тиме упијала топлоту из простора (од људи и опреме). Зими плоче апсорбују топлоту из простора и остају топле током ноћи чиме се смањује енергија потребна за јутарње загревање простора.<sup>143</sup>



**Слика 9.** Унутрашњи елементи који рефлектују светлост на глатке површине засвођене бетонске таванице, у оквиру зграде Градског већа; Свордс, Ирска, 2000., архитектонско решење Бухолц МекЕвој архитекти. [Извор: Irish Energy Centre. *Fingal county hall - low energy offices, Good Practice Case Study 9.*]

**Слика 10.** Армиранобетонске међуспратне таванице у облику бачвастих сводова, у згради Portcullis; Лондон, УК, 2001, архитектонско решење Мајкл Хопкинс и партнери. [Извор: P. F. Smith, *Architecture In A Climate Of Change: A Guide to Sustainable Design* (Elsevier/Architectural Press, 2005), 137]

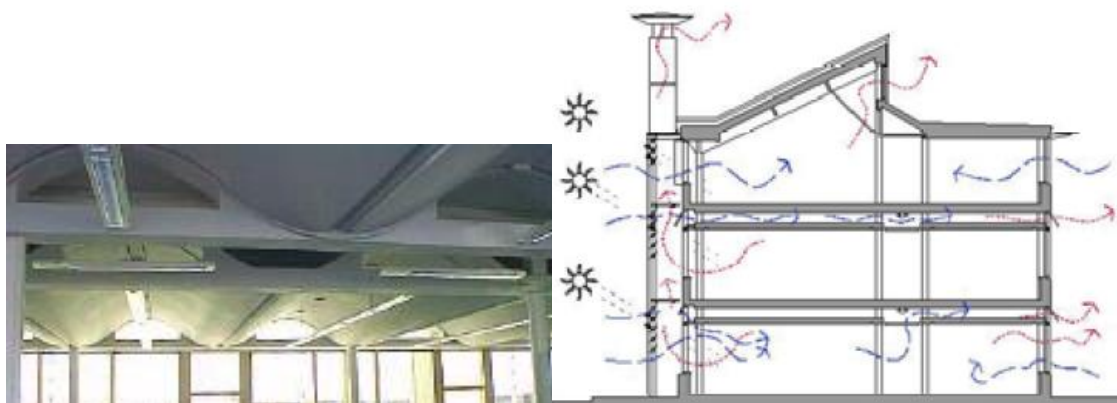
По Питер Смигу “естетски и енвиронментално најпогоднији метод за постизање термалне масе” примењен је у згради Portcullis (Лондон, УК, 2001.), где су

<sup>142</sup> SAUL Intelligence Unit, *Energy Use and Environmental Performance in Public Buildings* (Research report) (The SAUL Press, 2012).

<sup>143</sup> Овај пасивни систем обезбеђује ефективни капацитет за хлађење од 25W/m<sup>2</sup> површине таванице, што је знатно више него што пружају лаке конструкције, при чему је пројектована укупна потрошња енергије зграде је 76.4kwh/m<sup>2</sup> годишње (Walsh, Kenny, and Brophy, *Thermal Mass and Sustainable Building: Improving Energy Performance and Occupant Comfort*, 25). Изложени бетон редукује дневне температуре од 3-4C° и одлаже дневни температурни максимум и до 6 сати.

реализоване армиранобетонске међуспратне таванице у облику бачвастих сводова (Слика 10).<sup>144</sup> Доња страна међуспратне таванице игра кључну улогу у одређивању њене ефективне термалне масе. Решење не подразумева овешани плафон, већ подигнути под у оквиру кога се воде инсталације. На овај начин конструкција постаје изложена са доње стране, чиме се унапређује ефективност термалне масе. Зими, конструкција током дана акумулира топлоту, а затим да је током ноћи ослобађа у унутрашње просторе. Лети се хладнији ноћни ваздух проводи кроз шупљине и хлади плоче, које затим током дана хладе простор, односно редукују температурне максимуме.<sup>145</sup>

У пословној згради организације Building Research Establishment (Garston, UK, 1996.) термална масу обезбеђују засвођене армирано бетонске међуспратне таванице (Слика 11), које су холистички пројектоване са циљем да се задовоље многе функције. Плоче су иницијално обликоване према захтеву да се обезбеди природна вентилација простора, односно ефективне ваздушне путање кроз зграду (Слика 12). Уједно је овај облик омогућио и дубљи продор дневне светлости.



Слика 11. Засвођене армирано бетонске међуспратне таванице у оквиру зграде организације BRE; Гарстон, УК, 1996., архитектонско решење Фајлден Клег Бредли Архитекти. [Извор: С. Harrison, *The Environmental Building, The Building Research Establishment (BRE) Office Building*, Case Study, 2006, 5]

Слика 12. Стратегија вентилације, илустрована у оквиру попречног пресека; зграда организације BRE, Гарстон, УК, 1996., архитектонско решење Фајлден Клег Бредли Архитекти. [Извор: С. Harrison, *The Environmental Building, The Building Research Establishment (BRE) Office Building*, Case Study, 2006, 3]

Преко изложених префабрикованих бетонских љуски, дебљине 7.5cm, на лицу места је ливен бетон како би се формирала заталасана носећа међуспратна конструкција (Слика 13). Ова конструкција је уједно и канал за вентилацију.

<sup>144</sup> Smith, *Architecture In A Climate Of Change*, 136.

<sup>145</sup> Smith, *Architecture In A Climate Of Change*, 136.

Пројектантски тим је масу ових плоча употребио у садејству са пасивним и активним стратегијама за грејање и хлађење, како би се контролисале температурне промене у унутрашњим просторима. Синусоидним профилом таванице максимизована је површина плафона, како би он ефективније модификовао температуру унутрашњег простора, преко „замајац“ ефекта (flywheel).



**Слика 13.** Попречни пресек кроз синусоидну међуспратну таваницу – 1-светилке, 2-слој са уграђеним системом за грејање и хлађење, 3-подигнути под, 4-вентилациони канал, 5-префабриковане таласасте бетонске љуске са слојем бетона ливеног на лицу места; зграда организације BRE, Гарстон, УК, 1996., архитектонско решење Фајлден Клег Бредли Архитекти. [Извор: Fielden Clegg Architects]

Ноћна вентилација је примењена за хлађење зграде и изложених плафона лети. Поред вентилације кроз прозоре, ваздух се ноћу увлачи и директно у канале заталасане међуспратне плоче, обезбеђујући њено додатно хлађење. Хлађење простора лети се додатно унапређује и помоћу циркулације хладне воде кроз цеви уграђене у подне плоче, чиме се обезбеђује 35kW хлађења и редукција од 2°C унутрашње максималне температуре. Током зиме кроз канале у међуспратној таваници провлачи се минимална количина ваздуха потребна за вентилацију простора, који се овим путем загрева, чиме се умањује потребе за грејањем. Током зиме кроз плоче пролази и грејана вода.<sup>146</sup>

Имајући у виду претходно, нова директива о енергетским перформансама зграда из 2010. године, мења приступ у оцени енергетских перформанси зграда, у оквиру кога се придаје већи значај унутрашњим елементима зграде, који укључују и конструкцију, поред фасаде и питања њене заптивености. Потенцира се значај примене пасивних техника, у вези са грејањем и хлађењем зграда, посебно имајући у виду годишњу потрошњу енергије у зградама, где се приоритет даје стратегијама које унапређују термалне перформансе зграда током летњег периода. Фокус треба да буде поред осталих стратегија, на довољном термалном капацитету у зграде и пасивним

<sup>146</sup> Harrison, *The Environmental Building*, 3.

техникама хлађења, посебно оним које унапређују унутрашње климатске услове и микроклиму у непосредној околини зграде.<sup>147</sup>

### **Захтев за укупном количином материјала**

Обзиром на то да је грађевински сектор највећи потрошач примарних сировина у Европи,<sup>148</sup> циљ је смањење захтева за укупном количином материјала током животног циклуса зграде, односно смањење притиска на животну средину током екстракције ресурса. Европска стратегија у вези са употребом ресурса односи се на двоструко раздвајање, које се тиче пораста еко-ефикасности, односно повећања ефикасности коришћења ресурса.<sup>149</sup> Циљ је повећање продуктивности ресурса (више вредности по килограму), уз истовремено смањење утицаја на животну средину (мање утицаја по килограму). Овај циљ усвојен је и на нивоу Уједињених нација,<sup>150</sup> али и у оквиру Националне стратегије одрживог коришћења природних ресурса и добара ("Службени гласник РС", бр. 33/2012, 3). Економски раст уз истовремену редукцију утицаја је могућ уколико се оствари додатна вредност. Када су у питању зграде, наведено подразумева остварење већих социјалних добробити.

Један од начина да се смање захтеви за укупном количином материјала је поновна употреба постојећих зграда. Поновна употреба зграде може захтевати адаптацију или реконструкцију, односно замену елемената зграде. Потребно је анализирати количине материјала и енергије који ће бити потребни током пројектованог животног циклуса обновљене зграде и упоредити их са потребним ресурсима које би захтевала нова зграда. Када је у питању конструкција зграде ограничења, везана за поновну употребу зграде, могу се тицати лошег физичког стања конструкције, немогућности прилагођавања простора новој намени услед неадекватне диспозиције конструктивних елемената, као и неприлагођености конструкције новим стандардима. У том смислу при пројектовању нових зграда, треба имати у виду поновну употребу уз адаптације, где посебна пажња треба да буде посвећена аспекту трајности конструкције и форми конструктивног склопа која

---

<sup>147</sup> Directive 2010/31/EU - on the energy performance of buildings, 13-35.

<sup>148</sup> Jock et al., *The European environment – state and outlook 2010: Synthesis* (Copenhagen: EEA European Environment Agency, 2010).

<sup>149</sup> Commission of the European Communities, *Strategy on the sustainable use of natural resources*, 5.

<sup>150</sup> Working Group on Decoupling, *Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth* (UNEP, 2011).



омогућава адаптивност простора. Такође, решења треба да осигурају робусност, односно минималну оштетљивост конструкције при различитим дејствима.

Редукција потребне количине материјала може бити остварена и преко ефикасног искоришћења новопроектованих простора. Већа искоришћеност простора постиже се рационализовањем величине простора. Циљ је обезбедити минимум неопходног простора за адекватно смештање потребних функција и ефективну реализацију предвиђених активности корисника.<sup>151</sup> Већа искоришћеност простора постиже се и повећањем удела нето корисног простора у укупном простору који заузима зграда (JUS ISO 9836).<sup>152</sup> Када је у питању фактор површине и запремине нето корисног простора, степен искоришћености простора процењује се на основу односа између грађевинске бруто површине и нето корисне површине ( $m^2/m^2$ ), и између грађевинске бруто запремине и нето корисне запремине ( $m^3/m^3$  изражено у процентима), који зависе од решења конструкције зграде.

Када је у питању конструкција зграде и ефикасност искоришћења простора, кључна су питања адекватних димензија и позиција носећих елемената (висина међусpratне таванице, димензије и позиције носећих стубова, зидова и спрегова). Веће ослобађање простора од носећих елемената (стубова, зидова и спрегова) води ка већој нето корисној површини простора.<sup>153</sup> Такође, конструкције које омогућавају интеграцију инсталација у зони конструкције обезбеђују већу нето корисну запремину простора. На овај начин остварује се и уштеда у површини омотача зграде. Просторна интеграција инсталационих система и конструкције је најефективнија у случају примене ошупљених конструктивних елемената, сендвич и решеткастих конструкција. Међутим, у процесу просторне интеграције инсталација и конструкције, треба имати у виду да поједина решења, током животног циклуса зграде, могу отежати процес поправке или замене елемената, као и процес адаптација простора, и водити ка већој потрошњи материјала и енергије.

Захтеви за укупном количином материјала могу бити редуковани уколико се оствари функционална интеграција елемената простора. Површински конструктивни елементи, поред носеће функције, могу преузети и функцију омотача зграде, као и

---

<sup>151</sup> Roberts-Hughes, *The size of England's new homes*, 4-16.

<sup>152</sup> *Promoting space efficiency in building design* (Research report) (Space Management Group, 2006).

<sup>153</sup> Sev, & Özgen, „Space efficiency in High-rise Office Buildings“, 69–89; *Tall Buildings: A Strategic Design Guide* (London: RIBA Publishing, 2005).

функцију завршних унутрашњих површина, односно елиминисати потребу за завршним облогама. У том случају посебна пажња треба да буде посвећена реализацији одговарајуће форме конструкције и адекватној обради завршних површина, односно остварењу одговарајуће текстуре и боје конструктивних материјала. При разматрању могућности употребе конструктивног материјала као спољног омотача зграде, мора се узети у обзир његова отпорност на агресивна дејства средине, као и количина материјала која ће бити потребна за одржавање, током животног циклуса конструкције.

Кључно својство конструкција зграда, који се тиче редукције количине материјала, је њихова структурална ефикасност. Структурална ефикасност, која се мери степеном искоришћења материјала конструкције по питању ношења оптерећења, условљена је формом конструкције. Сандакер констатује да „ефикасна употреба конструктивних материјала значи трагање за крутошћу и носивошћу кроз геометрију, пре него кроз количину материјала и димензије“.<sup>154</sup> „Конструкције су ефикасније када оптерећења изазивају појаву аксијалних сила у систему, пре него савијање“.<sup>155</sup> Генерално, у аксијално напрегнутим елементима постоји равномерна расподела напона, што омогућава да укупна количина материјала у елементу буде напрегнута до дозвољеног нивоа. За разлику од аксијално напрегнутих елемената и елемената изложеним дејству мембранских сила, код елемената напрегнутих на савијање, интензитет напона у попречном пресеку варира (од минимума код неутралне осе, до максимума код влакана најудаљенијих од неутралне осе). “Само материјал у најудаљенијим влакнима може бити напрегнут до своје чврстоће. Већи део присутног материјала је недовољно напрегнут и тиме неефикасно коришћен”.<sup>156</sup> У приложеној шеми дати су основни типови носача у архитектонским конструкцијама са доминантним ефектима оптерећења (**Слика 14**).<sup>157</sup> Ипак, треба имати у виду да су носећи елементи архитектонских конструкција изложени бројним врстама оптерећења и најчешће њиховим комбинацијама, чији су ефекат различите врсте и комбинације напрезања.

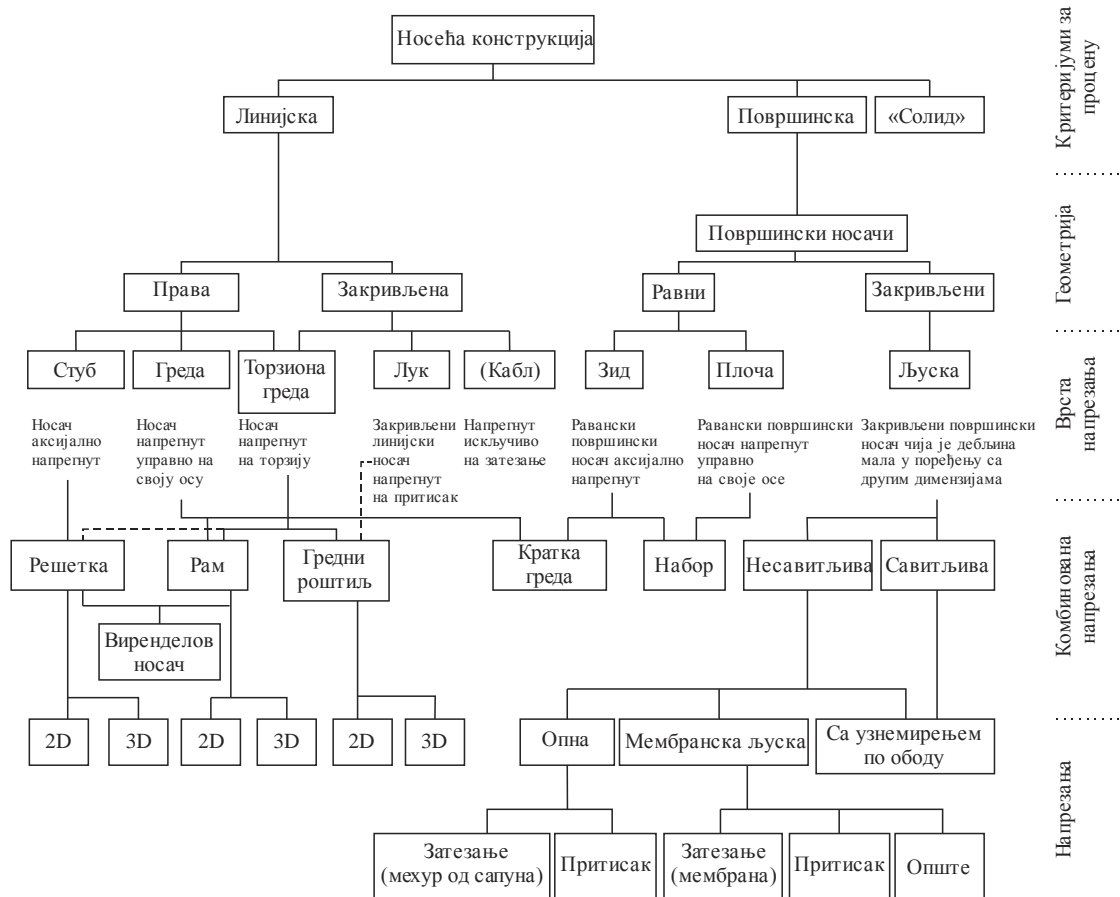
---

<sup>154</sup> Sandaker, *On Span and Space: Exploring structures in architecture*, 61.

<sup>155</sup> Ibid., 63.

<sup>156</sup> Macdonald, *Structure and Architecture*, 37.

<sup>157</sup> Kind-Barkauskas et al., *Concrete construction manual*, 107.



**Слика 14.** Основни типови носећих конструкција са доминантним ефектима оптерећења. [Извор: F. Kind-Barkauskas, B. Kauhsen, S. Polonyi, and J. Brandt, *Concrete construction manual* (Basel-Boston-Berlin: Birkhäuser, 2002), 107]

Генерално, геометрија попречног пресека и подужна геометрија елемента конструкције утичу на његову структуралну ефикасност. Код елемената изложених савијању, већа структурална ефикасност се може остварити уколико се редукује количина материјала у зони у којој је он недовољно напрегнут. Остварење уштеде у количини материјала у оквиру појединачних елемената конструкције, води ка прогресивној уштеди материјала у оквиру читавог склопа. Ипак, највеће уштеде у материјалу могу бити остварене уколико је целокупни конструктивни склоп адекватно обликован. Како би се повећала структурална ефикасност, форма конструкције треба да буде таква да се обезбеде што директније путање оптерећења и избегну концентрације напона.

У случају примене композитних конструктивних материјала, могу се остварити уштеде у количини материјала у оквиру конструкције, оптималним пројектовањем материјала. У случају армираног бетона, као најчешће коришћеног

композитног конструктивног материјала, уштеде се могу остварити успостављањем оптималног односа између количине бетона, количине арматуре и чврстоће бетона, као и оптимизовањем распореда арматуре у елементима конструкције, у складу са очекиваним напрезањима конструкције.

### **Удео материјала из секундарних сировина**

Циљ је повећање удела материјала обезбеђених из секундарних сировина (непосредна поновна употреба, употреба уз дораду или употреба рециклираних материјала), у укупној количини материјала, што ће смањити захтеве за материјалима из примарних сировина, уграђену енергију материјала, али и смањити количину отпада који се шаље на депоније и тиме потенцијално загађење земљишта и вода.

Елементи конструкција зграда, могу бити поново употребљени или рециклирани уколико су достигли крај свог употребног века.<sup>158</sup> Поновна употреба елемената конструкције би требало да има приоритет у односу на рециклирање, док би рециклирање требало да има приоритет у односу на одлагање отпада. Како би се елементи носећих конструкција могли поново употребити у неизмењеној или делимично измењеној форми (непосредна поновна употреба или употреба уз дораду), потребно је да буду трајни и адекватно одржавани. Такође, да би се елементи могли поново употребити, потребно је спровођење пажљиве разградње зграде у коју су уграђени. Конструктивни склоп треба да буде такав да је омогућена разградња без већег оштећивања елемената. Погоднији су конструктивни склопови од префабрикованих елемената међусобно везаних везама монтажано-демонтажног карактера. Поновна употреба је чешћа у случају стандардизованих компоненти и веза, као и у случају компоненти већег попречног пресека, обзиром на то да су мање склоне оштећивању током процеса разградње зграда.<sup>159</sup> Пре поновне употребе носећих елемената потребно је спровести контролу носивости, након претходног одстрањивања оштећених делова, спојних средстава и делова носача са ослабљеним попречним пресеком.

Када је у питању поновна употреба дрвених носача ограничавајући фактор може бити редукција попречног пресека, која настаје након уклањања оштећених

---

<sup>158</sup> V.M. John and SE. Zordan, „Methodology for recycling residues as building materials“, 213-219.

<sup>159</sup> Gorgolewski et al., *Facilitating Greater Reuse and Recycling of Structural Steel in the Construction and Demolition Process* (Project final report) (Ryerson University, 2006).

делова, ексера, клинова или завртњева и зона са рупама. У том контексту поновна употреба је чешћа у случају дрвених носача великог попречног пресека.<sup>160</sup> Када је у питању поновна употреба челичних носача, ограничавајући фактори могу бити везани за проблеме корозије и замора материјала.<sup>161</sup> Поновна употреба елемената за зидање, може бити лимитирана великим утрошком рада који је потребан како би се компоненте везане малтером раздвојиле. У случају монолитних армиранобетонских конструкција, поновна употреба компоненти је ретка, обзиром на отежану разградњу без већих оштећења.<sup>162</sup> Такође, нову употребу често лимитирају димензије елемената које су пројектоване за специфичну намену, као и немогућност сагледавања уграђене арматуре. Са друге стране, префабриковани бетонски елементи стандардних димензија, са стандардизованом арматуром, су погоднији за поновну употребу. Ипак, у случају префабрикованих бетонских елемената, монолитизација појединачних монтажних елемената на лицу места, са циљем остварења адекватних сеизмичких перформанси, отежава будућу разградњу.

Поред поновне употребе носећих елемената, смањење захтева за материјалима из примарних сировина је могуће остварити применом употребљених производа других индустрија, без претходног процесирања, у оквиру конструкција зграда. Као уграђена оплата армиранобетонских конструкција могу се користити пластичне боце, балиране пластичне кесе и други компримовани пластични материјали из отпада.<sup>163</sup>

Са циљем редукације потрошње материјала из примарних сировина, у оквиру носећих конструкција зграда могу се применити и материјали добијени процесом рециклаже материјала из отпада. Примарни проблем који се тиче употребе рециклираних материјала за израду елемената конструкција зграда, односи се на потенцијално умањење квалитета материјала, односно на теже остварење потребних перформанси. Обзиром на то да челик не губи на квалитету приликом рециклаже, он

---

<sup>160</sup> S. Nakajima and M. Futaki, „National R&D project to promote recycle and reuse of timber constructions in Japan – the second year’s results“ (paper presented at the *CIB Task Group 39 - Deconstruction Meeting*, Karlsruhe, 2002).

<sup>161</sup> Cooper et al., „Reusing Aluminium and Steel Components“, 10334-10340.

<sup>162</sup> Addis, *Building with Reclaimed Components and Materials*, 68.

<sup>163</sup> Интересантан пример могуће употребе производа других индустрија је прототип система уграђене оплате бетонских међуспратних конструкција, изведене од међусобно увезаних употребљених пластичних боца, који је развијен од стране фирме Skidmore, Owings & Merrill. <http://www.architectmagazine.com/green-technology/sustainable-form-inclusion-system.aspx>

се успешно примењује за израду челичних носећих елемената и арматуре бетонских носача. У случају бетона за израду носећих конструкција, могућа је примена рециклираних конструктивних материјала као агрегата.<sup>164</sup> Примена рециклираних агрегата, као што су дробљена опека и бетон, треба да буде заснована њиховом претходном тестирању, пре свега по питању чврстоће при притиску, порозности, апсорпције воде и удела штетних састојака (остаци малтера, органске супстанце, сулфати, хлориди), обзиром на то да својства агрегата утичу на пројектовање мешавине и својства бетона.<sup>165</sup> Треба имати у виду да присуство рециклираних агрегата у бетону, може имати негативне ефекте по обрадљивост, уградљивост, чврстоћу и трајност бетона, што је и један од разлога за одсуство њихове шире примене.<sup>166</sup> Примена агрегата од рециклираног бетона у оквиру носећих армиранобетонских конструкција је ограничена и због великих варијација у квалитету бетона, као последица различитог порекла и стања "старог" бетона.<sup>167</sup> Обзиром на наведено, агрегат од рециклираног бетона се још увек доминантно користи за израду тампона и подлога у путоградњи, док је примена у оквиру носећих конструкција још увек у фази истраживања.<sup>168</sup>

У току су истраживања везана за могућност употребе рециклиране воде у бетону, обзиром на све већи дефицит пијаће воде и њену све већу цену. Као и у случају примене рециклираних агрегата, при употреби рециклиране воде посебна пажња треба да буде посвећена аспектима уградљивости, чврстоће и трајности бетона.<sup>169</sup>

Како би се редуковали захтеви за примарним сировинама, при пројектовању композитних конструктивних материјала и композитних носећих компоненти, треба

---

<sup>164</sup> У Србији је употреба рециклираних конструктивних материјала као агрегата лимитирана непостојањем системски организованог, одвојеног сакупљања, сортирања и рециклаже грађевинског отпада. Грађевински отпад завршава на депонијама.

<sup>165</sup> Khalaf and DeVenny, „New and Recycled Clay Brick Aggregate“, 456-464; Jevtić, Zakić i Savić, „Specifičnosti tehnologije spravljanja betona na bazi recikliranog agregata“, 52-62; Kesegi, Bjegović, and Netinger, „Uпотреba reciklirane opeke kao agregata za beton“, 15-22; Malešev, Radonjanin, and Marinković, „Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production“, 1204-1225.

<sup>166</sup> Kesegi, Bjegović, and Netinger, „Uпотреba reciklirane opeke kao agregata za beton“, 15-22; Topcu, „Physical and mechanical properties of concrete produced with waste concrete“, 1817-1823; Radonjanin, Malešev, i Marinković. „Mogućnosti primene starog betona kao nove vrste agregata“, 178-188.

<sup>167</sup> Radonjanin, Malešev, i Marinković. „Mogućnosti primene starog betona kao nove vrste agregata“, 178-188.

<sup>168</sup> Malešev, Radonjanin, and Marinković, „Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production“, 1204-1225.

<sup>169</sup> *Use of Recycled Water in Concrete Production* (Cement Concrete and Aggregates Australia, 2007).

имати у виду потенцијал материјала и компоненти за будуће рециклирање, који је у великој мери условљен могућношћу сепарације компонентних материјала. Циљ је омогућити касније раздвајање материјала уз малу употребу енергије.

Редукција количине примарних сировина у оквиру носећих конструкција је остварива и кроз примену нуспроизвода. Цемент може бити делимично замењен нуспроизводима као што су електрофилтерски (летећи) пепео, згура високих пећи, силикатна прашина и други комплементарни цементи материјали.

Замена цемента летећим пепелом је обично лимитирана на 15-20%. Међутим поједини истраживачи указују на то да је могуће заменити и до 50% цемента, а да се при томе оствари боља уградљивост, већа каснија чврстоћа и већа трајност бетона<sup>170</sup>, као и побољшане механичке карактеристике, пре свега већа каснија чврстоћа на притисак и савијање.<sup>171</sup> Међутим, ране чврстоће ових бетона су обично ниже него чврстоће бетона на бази чистог цемента, што се може одразити на брзину градње (временски дужа нега и касније скидање оплате).<sup>172</sup> Проблем који ограничава ширу примену бетонима са летећим пепелом и другим комплементарним цементним материјалима је што им перформансе и квалитет варирају у складу са класом комплементарних материјала. У том смислу потребно је више раних тестирања, што за пројекте мањих размера може бити економски неисплативо.

Летећи пепео и згура могу бити инкорпорирани у бетонске блокове за зидање, са могућим уделом и до 35%.<sup>173</sup> Згура високих пећи може бити употребљена као замена за цемент и као замена за груби песак у бетону, уз унапређење својства бетона, као што су чврстоћа при притиску и пропусност за водену пару и гасове.<sup>174</sup>

---

<sup>170</sup> V.M. Malhotra and P.K. Mehta, *High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete* (WOC, 2010).

<sup>171</sup> Naik and Ramme, „High Strength Concrete containing large quantity of fly ash“, 111-116.

<sup>172</sup> Треба имати у виду да у случају високих објеката, нижи делови конструкције нису у пуној мери оптерећени док траје градња, тако да се за ове елементе не мора захтевати испитивање чврстоће бетона након 28 дана старости, већ је могуће радити испитивања на чврстоћу након 56 или чак 91-ог дана (уз одговарајући законски оквир), што је све чешћа пракса у свету (Pattanaik and Kumar, „A Study of Nalco Fly Ash on Compressive Strength for Effective Use in High Volume Mass Concrete for a Sustainable Development“, paper presented at the International Conference on Sustainable Technologies for Concrete Constructions, Mumbai, 2010).

<sup>173</sup> ACI Committee 232, *Use of Fly Ash in Concrete*, 23-25

<sup>174</sup> Y. Wang, „The effect of Bond Characteristics Between Steel Slag fine Aggregate and Cement Paste on Mechanical Properties of Concrete and Mortar“, in *MRS Proceedings*, vol. 114 (Materials Research Society, 1988).

Песак у бетону може бити делимично или у потпуности замењен каменом прашином, насталом током ископавања камена.<sup>175</sup>

### **Удео материјала из примарних сировина из обновљивих извора**

Обзиром на то да грађевински сектор у Европи, у највећем проценту још увек користи примарне сировине, и то из необновљивих извора, циљ је повећање удела материјала из примарних сировина из обновљивих извора.

Производња бетона, бетонских или глинених елемената за зидане конструкције заснива се на екстракцији примарних сировина које се могу сматрати обновљивим уколико темпо потрошње не превазилази брзину стварања нових резерви, што тренутно није случај са већином ресурса. Међутим, потрошња шљунка и песка за потребе бетонске индустрије у Европи, превазилази брзину стварања нових резерви. У том контексту, тренд је прелазак на дробљене и рециклиране агрегате<sup>176</sup> без обзира на малу уграђену енергију природног шљунка на изворишту.

Са друге стране, дрво је обновљив, био базирани конструктивни материјал, чије се резерве пошумљавањем могу одржавати на адекватном нивоу. Ипак треба имати у виду да се у случају младих шума могу јавити проблеми везани за формирање носача потребних димензија попречног пресека као и проблеми везани за слабији квалитет дрвета брзорастућих врста. Ови проблеми могу бити превазиђени кроз примену композитних дрвених носача уместо резане грађе.

### **Удео материјала из извора којима се одговорно управља**

Експлоатацијом примарних сировина, деградира се природна средина, нарушава еколошка равнотежа и угрожава здравље биолошких ресурса. Наведени ефекти су посебно изражени у случају илегалне експлоатације. Циљ је употреба сертификованих материјала, из извора којима се одговорно управља.<sup>177</sup> Примарни

---

<sup>175</sup> N.H.M. Raju, R. Kishore, and V. Bhikshma, „Flexural behavior of high strength stone dust concrete“, in *Challenges, Opportunities and Solutions in Structural Engineering and Construction* (CRC Press, 2009).

<sup>176</sup> Danish Technological Institute et al. *Baseline Report for the Aggregate and Concrete Industries in Europe*, ECO-SERVE Network, Cluster 3: Aggregate and Concrete Production, 2004.

<sup>177</sup> У Србији се око 30% територије налази под шумама. Потребно је да се пошумљавањем оствари око 41% пошумљености територије, како би се остварила одржива експлоатација, односно како би степен потрошње био мањи од степена обнове овог ресурса (Ranković, „Pošumljavanje u Srbiji“, 116).



проблем везан за употребу сертификованих материјала је непостојање система сертификације или недовољно развијен систем сертификације.<sup>178</sup>

Обзиром на наведено, током процеса пројектовања потребно је познавати ефекте експлоатације сировина на животну средину. Када су у питању сировине за израду конструкција зграда, потребно је примарно познавати утицаје који се јављају у случају експлоатације шума, песка, шљунка, кречњака, глине и руде гвожђа, обзиром на њихову обимну потрошњу. Неконтролисана експлоатација шума, примарно води ка дефорестизацији, ерозији тла, промени састава тла и смањењу биодиверзитета. Експлоатација песка, шљунка, кречњака, глине и руде гвожђа, примарно подразумева заузимање великих површина земљишта, нарушавање природних амбијенталних вредности, губитке станишта и загађење воде, ваздуха и тла. По животну средину су посебно неповољне експлоатације које искључују рекултивацију.<sup>179</sup>

#### **Одлагање отпада и удео опасног отпада**

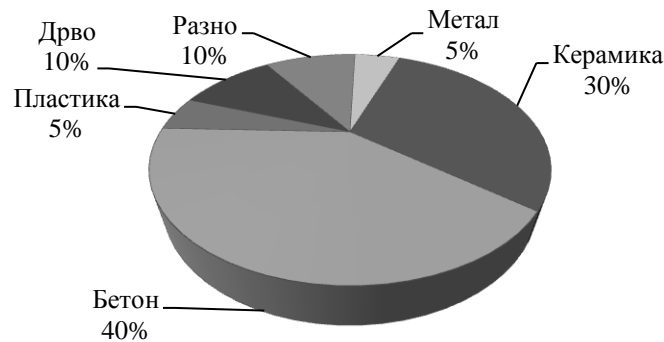
Сви материјални улази током животног циклуса зграде, ће пре или касније бити трансформисани у материјалне излазе. Уколико заврше на депонијама, материјални излази угрожавају животну средину, реметећи екосистеме, преко заузимања земљишта и могућих екотоксичних ефеката. Циљ је редуковање количине грађевинског отпада, односно количине материјала који ће завршити на депонијама, као и редуковање удела опасног отпада.

Грађевински отпад, који је углавном инертан и неотрован, генерише се приликом градње, одржавања, реконструкције или рушења зграда. Највећа количина грађевинског отпада се генерише при рушењу. У приложеној шеми дата је апроксимативна структура отпада насталог рушењем зграда у Европској унији (Слика 15).

---

<sup>178</sup> У Србији је до 2010. године сертификовано само 17,2% од укупне површине под шумама (Vasiljević i Glavonjić, „Certification of forests and wood products in Serbia“, 26).

<sup>179</sup> Dražić et al., „Rehabilitation of Landscapes Degraded by Stone, Clay and Sand Exploitation– Case Studies from Serbia“ (paper presented at the SARM Conference, Ljubljana, 2011).



**Слика 15.** Апроксимативна структура отпада насталог рушењем објеката у Европској унији. [Извор: N.D. Oikonomou, „Recycled concrete aggregates“, *Cement and Concrete Composites* 27 (2005): 315-318, 316]

Када је у питању редукација количине грађевинског отпада насталог рушењем, кључно је разматрање аспекта који се односе на смањење количине уграђених материјала, при чему су у вези са конструкцијом зграде посебно значајни аспекти структуралне ефикасности, као и аспекти функционалне интеграције елемената простора. Када је у питању редуковање количине конструктивних материјала који ће завршити на депонијама, интервенције се поред смањења количине уграђених материјала, тичу и повећања удела конструктивних материјала који се могу непосредно поново употребити, употребити уз дораду, рециклирати или употребити као гориво (уз бригу о проблему штетних емисија). Како би се наведено реализовало, кључно је разматрање аспекта трајности конструкције, затим питања карактера веза између елемената, нивоа стандардизације компоненти и веза, као и разматрање потенцијала материјала и компоненти за будуће рециклирање, у великој мери условљеног могућношћу сепарације компонентних материјала. Сви наведени аспекти су обрађени у претходним поглављима.

Редукацију отпада у фази извођења конструкције, могуће је остварити кроз примену система који не подразумевају употребу амбалаже, кројење компоненти на лицу места, као и коришћење оплата за мали број употреба (дрвене оплате при извођењу класичног армираног бетона).<sup>180</sup>

Како би се редуковао удео опасног отпада, потребно је у оквиру конструкција избегавати материјале који садрже опасне материје (уља, боје, лакови, лепкови, нуспроизводи и др., са уделом опасних материја).

<sup>180</sup> Hanna, *Concrete Formwork Systems*, 33.

### Захтеви за свежом водом и количина отпадне воде

Како би се смањило интензитет деградације водених ресурса и одржало адекватно снабдевање свежом водом одговарајућег квалитета, циљ је редуковање потребне количине свеже воде и редуковање отпадне воде, у свим фазама животног циклуса зграде. Потребно је повећати ефикасност коришћења воде и прикупљати и складиштити воду (кишница и отпадна вода) са циљем поновне употребе (без или са пречишћавањем-рециклажом).

Када су у питању конструктивни материјали, највећа потрошња воде је везана за производњу бетона и челика. Редуковањем водоцементног фактора, уз одговарајуће пројектовање мешавине по питању уградљивости и обрадљивости (супрпластификатори, летећи пепео), може се смањити потрошња воде при производњи бетона. Додавањем летећег пепела мешавини може се редуковати количина потребне воде за справљање бетонске мешавине.<sup>181</sup> Са друге стране, примена рециклираних агрегата са већим степеном апсорпције воде од природних агрегата, посебно примена агрегата од рециклираног бетона, може захтевати додатне количине воде при справљању бетона. Обзиром на све већу примену бетона и проблеме у вези са доступношћу свеже пијаће воде, у току су истраживања могућности употребе рециклиране воде у бетону.<sup>182</sup> Када су у питању производња челика, поред велике потрошње воде током производње челика, посебан проблем представља складиштење и поновна употреба отпадне воде, обзиром на присуство загађивача (оксидишућих и органских материја, уља, метала, киселина, фенола, цијанида...). Исти проблем постоји и у случају отпадне воде током производње бетона, која такође садржи штетне материје (сулфате, хидроксиде, хлориде, уља од подмазивања опреме, деривате хемијских додатака...),<sup>183</sup> обзиром на то да се ни ове воде „не смеју испуштати“ (Уредба о граничним вредностима емисије загађујућих материја у воде и роковима за њихово достизање, “Сл. Гласник РС”, бр. 67/2011 и 48/2012).

---

<sup>181</sup> Joshi and Lohtia, *Fly ash in concrete*, 68-73.

<sup>182</sup> Use of Recycled Water in Concrete Production (Cement Concrete and Aggregates Australia, 2007).

<sup>183</sup> Chini and Mbwambo, „Environmentally Friendly Solutions for the Disposal of Concrete Wash Water from Ready Mixed Concrete Operations“ (paper presented at the CIB W89 Beijing International Conference: Construction Modernisation and Education, October, 1996).

### **Захтев за земљиштем високог бонитета**

Циљ је редуковати површину квалитетног земљишта, тј. земљишта високог бонитета („greenfield“), коме се мења намена у грађевинско (редуковање степена конверзије), што отвара могућност искоришћења његових потенцијала за намене као што су производња хране и зелене површине, и уједно редукује ремећење екосистема.

### **Удео претходно коришћеног грађевинског земљишта**

Циљ је повећати удео земљишта које је већ коришћено као грађевинско земљиште (напуштене или недовољно искоришћене грађевинске парцеле и објекти), односно повећати удео рециклираних или ревитализованих („brownfield“) локација. Наведено подразумева поновно коришћење, уз евентуалну реконструкцију и доградњу, постојећих објеката на локацији или њихово рушење.

### **Утицај на локални екосистем**

Циљ је минимизовање утицаја, током животног циклуса зграде, на локални екосистем, преко редукације штетних ефеката у наведеним фазама: штетних емисија у воду, ваздух и земљиште, буке, вибрација, непријатних мириса, загађења светлом, загревања околног ваздуха, засенчења околине и измена образаца струјања ветрова, односно измена микроклиме.

Императив је минимизовање или елиминисање емисија штетних супстанци, односно употреба материјала и производа који немају токсичне ефекте на биоресурсе. Посебан ризик носе нови материјали, чији утицај на здравље често није у довољној мери испитан. Поједини материјали могу емитовати токсичне чак и канцерогене супстанце. У неким материјалима који потичу из земљишта може бити присутан радон. Радиоактивни могу бити и материјали који садрже индустријски отпад, шљаку и пепео из термоелектрана. Бетони са летећим пепелом и другим комплементарним цементним материјалима могу садржати тешке метале.<sup>184</sup> Процесирани материјали на бази дрвета и неке врсте термоизолационих материјала могу имати висок садржај испарљивих органских једињења, као што је формалдехид,

---

<sup>184</sup> Током фазе употребе ослобађа се само 1% тешких метала, што не представља ризик по здравље корисника.

гас штетан по људско здравље. Додаци бетону такође могу имати токсичне ефекте. Потребно је имати у виду њихов хемијски састав. Токсични ефекти су могући и у случају примене пигмената и премаза за бетон, средства за заштиту дрвета (емајли, лакови, лазуре, хемијска средства за третирање дрвета под притиском, на бази бакра, хрома и арсеника) и челика (антикорозивна заштита челичних конструкција органским и металним превлакама или комбинованим системима).

На основу спроведене анализе принципа пројектовања конструкција зграда у складу са постављеним интегрисаним циљевима, који произилазе из индикатора еколошког квалитета зграде, односно спознавања могућих облика повезаности и зависности подсистема зграде, конструкције и конструктивних материјала, односно понашања ових подсистема усмереног ка постизању циља система-зграде – еколошког квалитета, изведени су критеријуми за интегрисано пројектовање и вредновање конструкција зграда у у оквиру критеријума заштите животне средине током животног циклуса зграде, дати у приложеној табели (**Табела 6**).

2.1.1.1.1 Критеријуми за интегрисано пројектовање и вредновање конструкција зграда у оквиру критеријума заштите животне средине током животног циклуса зграде

Табела 6

Критеријум заштите животне средине током животног циклуса зграде		Критеријуми за интегрисано пројектовање и вредновање конструкција зграда	
штетне емисије у ваздуху, воду и земљиште	потенцијал глобалног загревања	kg CO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup> годишње	<ul style="list-style-type: none"> <li>• редукција потрошње материјала са интезивним емисијама током производње услед хемијских реакција</li> <li>• редукција уграђене енергије (добијене сагоревањем фосилних горива) <ul style="list-style-type: none"> <li>○ редукција укупне потрошње материјала (видети захтев за укупном количином материјала)</li> <li>○ већи удео материјала из енергетски мање захтевних процеса добијања сировина</li> <li>○ већи удео мање процесираних материјала</li> <li>○ већи удео материјала из енергетски мање захтевне производње</li> <li>○ већи удео материјала обезбеђених из секундарних сировина</li> <li>○ већи удео материјала из локалних извора (локални извори сировина и локална производња материјала и производа)</li> <li>○ мање транспортне тежине</li> <li>○ енергетски мање захтевни облици транспорта</li> </ul> </li> <li>• редукција оперативне енергије (добијене сагоревањем фосилних горива) <ul style="list-style-type: none"> <li>○ већа топлотна отпорност склопа</li> <li>○ минимизовање топлотних мостова (оквирни фактор)</li> <li>○ већа заптивеност склопа (карактер веза и димензионална стабилност материјала)</li> <li>○ адекватна топлотна маса</li> <li>○ адекватне боје видних конструктивних елемената</li> <li>○ већи ниво просторне и функционалне интеграције елемената простора</li> </ul> </li> <li>• максимизовање употребе енергије из обновљивих извора</li> </ul>
	потенцијал оштећења озонског омотача	kg R <sub>11</sub> -ekv/m <sup>2</sup> годишње	<ul style="list-style-type: none"> <li>• редукција оперативне енергије (за хлађење зграда)</li> <li>• примена материјала чија производња не подразумева употребу хемикалија са потенцијалом за оштећење озонског омотача</li> </ul>
	потенцијал за повећење киселости	kg SO <sub>2</sub> -ekv/m <sup>2</sup> годишње	<ul style="list-style-type: none"> <li>• редукција уграђене енергије</li> <li>• редукција оперативне енергије</li> <li>• максимизовање употребе енергије из обновљивих извора</li> </ul>
	потенцијал еутрофикације	kg PO <sub>4</sub> -ekv/m <sup>2</sup> годишње	<ul style="list-style-type: none"> <li>• пречишћавање отпадних вода</li> <li>• редукција уграђене енергије</li> <li>• редукција оперативне енергије</li> <li>• максимизовање употребе енергије из обновљивих извора</li> </ul>
	потенцијал фотохемијског формирања озона	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> -ekv/m <sup>2</sup> годишње	<ul style="list-style-type: none"> <li>• редукција уграђене енергије (локални извори сировина; локална производња материјала и производа; мање транспортне тежине; енергетски мање захтевни облици транспорта)</li> <li>• редукција оперативне енергије</li> <li>• максимизовање употребе енергије из обновљивих извора</li> </ul>

Критеријум заштите животне средине током животног циклуса зграде			Критеријуми за интегрисано пројектовање и вредновање конструкција зграда
захтев за енергијом	захтев за примарном енергијом из необновљивих извора	kWh/m <sup>2</sup> годишње	<ul style="list-style-type: none"> <li>• редуковање удела енергије обезбеђене из необновљивих извора</li> </ul>
	захтев за укупном примарном енергијом и удео примарне енергије из обновљивих извора	kWh/m <sup>2</sup> годишње	<ul style="list-style-type: none"> <li>• редукација укупне примарне енергије <ul style="list-style-type: none"> <li>○ редукација уграђене енергије</li> <li>○ редукација оперативне енергије</li> </ul> </li> <li>• повећање удела примарне енергије обезбеђене из обновљивих извора</li> </ul>
захтев за укупном количином материјала		kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• могућност поновне употребе зграде <ul style="list-style-type: none"> <li>○ оптимална трајност и адекватно одржавање конструкције</li> <li>○ адаптивност простора</li> <li>○ могућност прилагођавања конструкције будућим стандардима</li> <li>○ робусност конструкције</li> </ul> </li> <li>• већа искоришћеност простора <ul style="list-style-type: none"> <li>○ адекватне димензије и позиције носећих елемената</li> <li>○ просторна интеграција инсталационих система и конструктивног система</li> </ul> </li> <li>• већи ниво функционалне интеграције елемената простора - елиминација потребе за завршним облогама <ul style="list-style-type: none"> <li>○ одговарајућа форма конструкције и конструктивних елемената</li> <li>○ одговарајућа текстура и боја конструктивних материјала</li> <li>○ отпорност конструкције на агресивна дејства средине</li> <li>○ ефикасно одржавање</li> </ul> </li> <li>• већа структурална ефикасност <ul style="list-style-type: none"> <li>○ адекватна геометрија конструктивног склопа (директније путање оптерећења; редукација концентрација напона)</li> <li>○ адекватна геометрија попречних пресека и подужна геометрија елемента конструкције (директније путање оптерећења; редукација концентрација напона)</li> <li>○ оптимално пројектовани материјали (оптимални однос компонентних материјала; оптималан распоред арматуре)</li> </ul> </li> </ul>
удео материјала из секундарних сировина		kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>• могућност поновне употребе елемената конструкције (непосредна поновна употреба или употреба уз дораду) <ul style="list-style-type: none"> <li>○ оптимална трајност и адекватно одржавање конструкције</li> <li>○ могућност разградње без већег оштећивања елемената</li> <li>○ могућност разградње без великог утрошка енергије и времена</li> <li>○ ниво стандардизације компоненти и веза</li> <li>○ веће димензије попречног пресека</li> </ul> </li> <li>• већи удео употребљених производа других индустрија без претходног процесирања</li> <li>• већи удео материјала добијених процесом рециклаже</li> <li>• већи удео нуспроизвода</li> <li>• већи потенцијал материјала и компоненти за будуће рециклирање (могућност сепарације компонентних материјала)</li> </ul>

Критеријум заштите животне средине током животног циклуса зграде		Критеријуми за интегрисано пројектовање и вредновање конструкција зграда
удео материјала из примарних сировина из обновљивих извора	kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>повећање удела материјала из примарних сировина из обновљивих извора (темпо потрошње не превазилази брзину стварања нових резерви) <ul style="list-style-type: none"> <li>већи удео дробљених и обрађених агрегата или агрегата од рециклираних материјала</li> <li>већи удео композитне дрвне грађе</li> </ul> </li> </ul>
удео материјала из извора којима се одговорно управља	kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>употреба сертификованих материјала</li> <li>употреба материјала са мањим ефектима експлоатације сировина на животну средину</li> </ul>
одлагање отпада и удео опасног отпада	kg	<ul style="list-style-type: none"> <li>редукција укупне потрошње материјала <ul style="list-style-type: none"> <li>већа структурална ефикасност</li> <li>већи ниво просторне и функционалне интеграције елемената простора</li> </ul> </li> <li>повећање удела материјала обезбеђених из секундарних сировина</li> <li>могућност поновне употребе елемената конструкције (непосредна поновна употреба или употреба уз дораду)</li> <li>већи потенцијал материјала и компоненти за будуће рециклирање (могућност сепарације компонентних материјала)</li> <li>примена система који не подразумевају употребу амбалаже, кројење компоненти на лицу места, коришћење оплата за једнократну употребу</li> <li>елиминација материјала који садрже опасне материје</li> </ul>
захтеви за свежеом водом и количина отпадне воде	l	<ul style="list-style-type: none"> <li>већа ефикасност коришћења воде</li> <li>прикупљање, складиштење и поновна употреба отпадне воде (уз могућу рециклажу)</li> </ul>
захтев за земљиштем високог бонитета	m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>употреба материјала за које експлоатација сировина не подразумева губитак земљишта високог бонитета</li> <li>унапређени процеси добијања сировина (рекултивација)</li> </ul>
удео претходно коришћеног грађевинског земљишта	m <sup>2</sup>	<ul style="list-style-type: none"> <li>могућност поновне употребе зграде (оптимална трајност конструкције; адаптивност простора; могућност прилагођавања конструкције будућим стандардима; робусност конструкције)</li> </ul>
утицај на локални екосистем	промена у еколошкој вредности локације	<ul style="list-style-type: none"> <li>елиминисање материјала и производа који имају токсичне ефекте на биоресурсе</li> <li>боја видне конструкције (на спољном омотачу) – загревање околног ваздуха „топлотно острво“</li> </ul>

[Извор: Табела аутора]



### **2.1.1.2 Интегрисано пројектовање конструкција засновано на критеријуму социјалних добробити за кориснике током фазе употребе зграде**

Пројектовање конструкције зграде у складу са интегрисаним пројектним циљевима, који произилазе из индикатора еколошког квалитета зграде, у оквиру критеријума социјалних добробити за кориснике током фазе употребе зграде.

#### **Заштита и безбедност**

Циљ је обезбедити објективну заштиту и безбедност корисника, преко редуковања степена штете у случају предвиђених и непредвиђених околности. Потребно је повећати сигурност људи при дејству елементарних непогода и других несрећа, односно остварити поузданост и издржљивост зграде и њених система за случај различитих дејстава. Потребно је отклонити ризике од оштећења здравља и повређивања корисника током употребе зграде, што подразумева одговарајући ниво функционалних перформанси (поуздани и безбедни системи и опрема, ергономске мере, задовољени аспекти комфора, квалитет воде, ниво зрачења). Потребно је спровођење мера за обезбеђење против провала и крађа.

Генерално, конструкције зграда морају бити пројектоване тако да издрже оптерећења којима могу бити изложене током животног циклуса. Честе промене намена архитектонских простора, указују на потребу за резервама у процењеним сталним и покретним оптерећењима током животног века. Такође, резерва мора да постоји и у случају допунских оптерећења, обзиром на то да су услед климатских промена поједина оптерећења, као што су оптерећења ветром, снегом и температурна оптерећења, постала непредвидива.<sup>185</sup> Обзиром на то да још увек није развијена методологија која истовремено узима у обзир прописана и непредвидива оптерећења, потребно је осигурати пре свега робустност конструкције, која умањује могућност прогресивног колапса у случају непредвиђених дејстава.<sup>186</sup> Робустност конструкције

---

<sup>185</sup> Demonceau, Comelieau, nad Jaspert, „Robustness of building structures“, 166–170.

<sup>186</sup> Starossek and Haberland, „Measures of structural Robustness; Ellingwood, „Load and Resistance Factor Criteria for Progressive Collapse Design“ (paper presented at the National Workshop on Prevention of Progressive Collapse, Rosemont, Illinois, July 10-12, 2002); Kim Hyunjin, *Progressive Collapse Behavior of Reinforced Concrete Structures with Deficient Details* (ProQuest, 2006).

се пре свега заснива на дуктилности, континуитету и редувантности<sup>187</sup>.

Како би се реализовала сеизмички отпорна зграда, Правилник о техничким нормативима за изградњу објеката високоградње у сеизмичким подручјима (Службени лист СФРЈ, бр. 31/1981, 49/82, 29/83, 21/88 и 52/90) предвиђа следеће: правилно и једноставно решење у основи зграде, са једноликим распоредом маса; што нижи положај маса; елиминацију промена крутости и чврстоће по висини зграде; елиминацију мешовитих система по вертикали; носеће елементе од чврстих и дуктилних материјала; конструкцију довољне чврстоће, са способношћу за велику деформацију, акумулацију и дисипацију енергије; могућност пластичног деформисања веза елемената, са циљем веће дуктилности и дисипације сеизмичке енергије; монолитност међуспратних таваница (круте дијафрагме); монолитност међуспратних таваница и веза монтажних елемената у случају примене префабрикованих конструкција; елиминацију могућности прогресивног рушења.

Облик зграде је, поред величине зграде, параметар који у великој мери утиче на њено понашање при дејству земљотреса.<sup>188</sup> Погодне су правилне, симетричне и компактне форме, како би се редуковала торзија зграде при дејству земљотреса, односно избегле непредвидиве концентрације напона, које могу изазвати локални колапс и модификацију динамичког понашања. Уколико је зграда разуђена и несиметрична, потребно ју је поделити на једноставне, правилне и симетричне делове (сеизмичке дилатације). Потребно је обезбедити што директније путање оптерећења у оквиру конструкције и што равномернију расподелу напона. Наведено подразумева избегавање ирегуларности конструкције по вертикали и хоризонтали. По вертикали примарно треба избећи варијације у конструктивном систему, крутости и тежини, као и дисконтинуитет елемената за укрућење и дисконтинуитет чврстоће. По хоризонтали примарно треба избећи ирегуларност конструкције и дисконтинуитет дијафрагми. Такође, пожељно је умањење масе објекта, обзиром на то да је отпорност на сеизмичка дејства обрнуто пропорционална маси. Свакако,

---

<sup>187</sup> Редувантност конструкције се односи на могућност очувања њене носивости у случају отказивања појединачних елемената конструкције, путем осигурања алтернативних путања оптерећења кроз преостале елементе конструкције.

<sup>188</sup> Arnold, „Building configuration: The Architecture of Seismic Design“, 83.

примарно треба избегавати веће масе на вишим етажама. Такође, треба избегавати и велике конзолне препусте.<sup>189</sup>

Поред наведеног, битне карактеристике сеизмички отпорних конструкција су дуктилност, деформабилност и „оштетљивост“, које се тичу могућности да конструкција доживи велике деформације без колапса, претрпевши оштећења. Треба избегавати системе који се могу срушити без упозорења. Основни захтев за сеизмички отпорну конструкцију је присуство дуктилних материјала на месту где ће се појавити напони затезања. Да би се осигурала сеизмичка отпорност зиданих конструкција потребно је армирање у критичним зонама и адекватно повезивање свих компоненти. Чврстоћа и дуктилност се боље могу контролисати у скелетним него у зиданим конструкцијама, обзиром на то да на њихово понашање не утиче величина и број отвора у зидовима. Код скелетног система треба имати у виду да су потребни системи за укрућење: дијагонале, дијафрагме или крути чворови. Конструкције такође морају имати способност прерасподеле оптерећења на неоштећене делове конструкције у случају оштећења неког дела, односно редундантност која подразумева алтернативне путање оптерећења како би се избегло прогресивно рушење. Наведено се постиже већом статичком неодређеношћу система. У случају отказивања једног елемента, са њим се смеју срушити само на њега непосредно ослоњени делови конструкције, док остали делови евентуално могу да претрпе велике деформације.

Када је у питању земљотрес, постојећи прописи засновани су већином на претходном искуству и емпиријским истраживања. Обзиром на комплексност испитивања перформанси зграда као целине, провера перформанси пројектованих решења са аспекта сигурности при дејству земљотреса, посебно у случају комплексних и нестандартних конструктивних склопова, који нису покривени грађевинским прописима, заснива се на лабораторијским тестирањима физичких модела. Разлог за наведено је тај што математичко моделовање, као процес у коме се идеализује геометрија конструкције, особине материјала и оптерећења која делују на

---

<sup>189</sup> Треба имати у виду да иновативни системи заштите зграда од земљотреса (изолација базе, системи за дисипацију енергије), омогућавају преиспитивање појма „регуларности“ и строгог поштовања досадашњих правила (Mezzi, „Configuration and Morphology for the Application of New Seismic Protection Systems“, in *First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*. European Association of Earthquake Engineering, 2006).

конструкцију, крије бројне неодређености.<sup>190</sup> Већина студија показује да измерене деформације и померања реалних конструктивних склопова углавном не одговарају срачунатим. У том контексту, валидност нумеричких анализа се потврђује преко поређења резултата са низом експерименталних испитивања.<sup>191</sup> Експериментални тестови треба да буду засновани на испитивању модела који у што већој мери одговарају будућој реалној конструкцији, што подразумева њихову израду од истих материјала или материјала сличних карактеристика онима који ће бити коришћени у реалној конструкцији.<sup>192</sup> За потребе тестирања перформанси конструкције при дејству земљотреса, у оквиру пројекта седишта CCTV, у Пекингу, у Кини, израђен је модел конструкције целе зграде у размери 1:35, висине 7м (Слика 16). Модел је израђен од материјала који својим механичким карактеристикама одговарају реалним материјалима у структури како би се што прецизније испитале перформансе конструктивног склопа при дејству земљотреса. У Јапану 2009. године, изведено је тестирање сеизмичких перформанси седмоспратне зграде у њеној реалној димензији (Слика 17). Циљ је био да се „изазову“ грађевински прописи који забрањују градњу седмоспратница и виших зграда у дрвету у сеизмички угроженим регионима. Примењен је принцип пројектовања заснованог на перформансама зграде као целине, а не приступ који почиње пројектовањем индивидуалних компоненти, што је омогућило да се „зграда понаша веома добро при јаким земљотресима“.<sup>193</sup>

---

<sup>190</sup> Heyman, „Hambly’s paradox: why design calculations do not reflect real behaviour“, 161 – 166; Chapman, „Learning from failures“, 71-101.

<sup>191</sup> Gopi, *Basic Civil Engineering*, 312.

<sup>192</sup> J.B. Burland, „Interaction Between Structural and Geotechnical Engineer“, *The structural Engineer*, 84, no.8, 2011.

<sup>193</sup> Lindt et al., „Seismic Response of a Full-Scale Six-Story Light-Frame Wood Building“, 1262–1272.



**Слика 16.** Модел конструкције зграде седишта CCTV-а, израђен за потребе тестирања перформанси конструкције при дејству земљотреса; фаза реализације пројекта; Пекинг, Кина. [Извор: С. Carroll, P. Cross, X. Duan, C. Gibbons, G. Ho, M. Kwok, R. Lawson, A. Lee, R. Li, A. Luong, R. McGowan, and Pope, „Case Study: CCTV Building - Headquarters & Cultural Center“, *CTBUH Journal*, 2008, 3]

**Слика 17.** Тестирање сеизмичких перформанси седмоспратне зграде изведене у дрвету. [Преузето са <http://www.earthquake-insurance.net/2009/earthquake-condo-building-codes/>, 28.1.2011.]

Конструкција зграде и њени елементи треба да поседују отпорност према пожару. Елементи носећих конструкција треба да буду израђени од негоривих материјала.<sup>194</sup> Најчешће коришћени негориви конструктивни материјали су бетон, челик и керамички материјали. Такође, елементи носећих конструкција треба да буду израђени од негоривих материјала отпорних према пожару најмање 1.5h (Правилник о техничким нормативима за заштиту високих објеката од пожара, "Сл. лист СФРЈ", бр.7/84), односно од материјала способних да се супротставе једнократном - краткотрајном деловању високих температура које се развијају у току пожара (до 1000<sup>0</sup>С). Поред услова да је израђена од негоривих и материјала отпорних према пожару у прописаном трајању, конструкција зграде треба да током одређеног захтеваног времена очува носивост, интегритет (без појаве пукотина, како би се спречио продор гасова) и термоизолационо својство (у случају површинских носача). Наведена три критеријума могу захтевана индивидуално или у комбинацији.<sup>195</sup> Према досадашњим прописима (ЈУС У.Ј1.240:1981; Правилник бр. 50-15677/1; Службени лист СФРЈ, бр.56/81) дефинисане су прописане класе пожарне отпорности

<sup>194</sup> Под негоривим материјалима подразумевају се они материјали који загрејани до 750<sup>0</sup>С у трајању од 20 минута, не ступају у хемијску реакцију са кисеоником из ваздуха, не развијају топлоту, не распадају се и не ослобађају сагориве гасове (SRPS EN ISO 1182:2011).

<sup>195</sup> Bin, „Fire resistance assessment of steel structures“ (paper presented at the Workshop on ‘Structural Fire Design of Buildings according to the Eurocodes’, Brussels, 27-28 November, 2012); John Purkiss, *Fire Safety Engineering Design of Structures* (CRC Press, 2006).

појединих делова и елемената конструкција, односно време за које поједини елементи конструкције морају задржати потребну носивост, у складу са класификацијом објеката и делова објеката.<sup>196</sup>

Дрвени елементи конструкције, иако дрво спада у гориве материјале, могу имати адекватну отпорност на дејство пожара уколико су адекватно заштићени или уколико им је попречни пресек већих димензија, обзиром на то да се током пожара на површини дрвета ствара нагорели угљенични слој, који смањује довод кисеоника до дрвне масе и успорава сагоревање. Челични елементи конструкције, уколико нису адекватно заштићени, немају довољну отпорност на дејство пожара, без обзира на то што је челик негорив материјал. Челични елементи при дејству пожара брзо губе своје механичке карактеристике, чврстоћу и крутост. На температури од 600<sup>0</sup>С напон течења челика је редукован за 50%, док је модул еластичности редукован за 70%.<sup>197</sup> Јављају се велике деформације, услед чега може доћи до урушавања објекта.<sup>198</sup> Армиранобетонски елементи имају добру отпорност према пожару, уколико су задовољени одређени услови. При дејству пожара долази до редукације попречног пресека бетонских елемената, услед одламања материјала. На одламање су посебно осетљиви бетони виших чврстоћа.<sup>199</sup> Такође, долази и до редукације чврстоће при притиску. На температури од 600<sup>0</sup>С чврстоћа при притиску стандардних бетона је редукована за 50%.<sup>200</sup> Поред деградације попречног пресека и механичких својстава бетона, у случају армираног бетона деградација механичких својстава носећих елемената, јавља се и због негативних утицаја високих температура на механичко понашање челика и смањење сила адхезије између бетона и челика. Обзиром на наведено, потребно је осигурати довољну дебљину заштитног слоја и минималне димензије елемената конструкције. Смањену механичку отпорност према пожару, у односу елементе конструкција од класичног армираног бетона, имају елементи конструкције изведени у технологији преднапрегнутог бетона, обзиром на то да се при високим температурама редукује чврстоћа и степен преднапрегнутости челичних

---

<sup>196</sup> Носиви зидови, стубови и греде, унутар пожарног сектора, морају да задрже потребну носивост у трајању од 1h (средња отпорност) до 3h (велика отпорност), док међусpratне конструкције морају да задрже потребну носивост у трајању од 0.5h (средња отпорност) до 2h (велика отпорност).

<sup>197</sup> Louis-Guy, „Fire resistance assessment of composite steel-concrete structures“, 13.

<sup>198</sup> Bin, „Fire resistance assessment of steel structures“ (paper presented at the Workshop on ‘Structural Fire Design of Buildings according to the Eurocodes’, Brussels, 27-28 November, 2012).

<sup>199</sup> Kodur, „Spalling in High Strength Concrete Exposed to Fire“, section 48, chapter 1.

<sup>200</sup> Louis-Guy, „Fire resistance assessment of composite steel-concrete structures“, 14.

жица/ужади (напон течења је редукован за 50% на температури од 420<sup>0</sup>С). На пожар су посебно осетљиве екстерно преднапрегнуте конструкције.<sup>201</sup>

Обзиром на наведено, предвиђено је обавезно атестирање типских носећих елемената грађевинских конструкција (носећих зидова, стубова, међуспратних конструкција, носећих греда, кровних конструкција и др.) на отпорност према пожару (Правилник о обавезном атестирању елемената типских грађевинских конструкција на отпорност према пожару и о условима које морају испуњавати организације удруженог рада овлашћене за атестирање тих производа, Службени лист СФРЈ, бр. 24,1990). Приступ који се заснива на тестирању и анализи отпорности према пожару појединачних елемената конструктивног склопа или његових делова, даје довољно добре резултате за стандардне и једноставне конструкције. Међутим, треба имати у виду да овакав приступ може дати недовољно тачну слику о отпорности конструкције у целини при дејству пожара, посебно у случају нестандардних случајева примене и комплексних склопова.<sup>202</sup>

Обзиром на то да је механичка отпорности конструкције при дејству пожара у великој мери условљена статичким системом, потребно је пре свега, обезбедити редундантност конструкције, односно могућност прерасподеле сила у оквиру конструкције након отказивања појединих елемената, чиме се избегава прогресивно рушење.

Нежељена померања, поред оних која су изазвана дејством јаких ветрова и земљотреса, непредвиђеним оптерећењем од снега или термичким оптерећењем, могу бити и последица скупљања и бубрења конструкције, услед промене влажности носећих елемената. Такође, нежељена померања могу бити и последица пузања материјала. Могућа је појава нежељених померања и услед неравномерног слегања тла или померања ослонаца. Све наведено мора бити размотрено како би се осигурала стабилност склопа, односно спречиле непожељне деформације конструкције. При наведеном треба имати у виду Чапманово запажање да је већина колапса конструкције резултат дефеката веза између елемената конструктивног

---

<sup>201</sup> *Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete Making Materials*, edited by J. F. Lamond, and J. H. Pielert (ASTM International, 2006); Atienza and Elices, „Fire-induced damage in prestressing steels after fire“, 147.

<sup>202</sup> Purkiss, *Fire Safety Engineering Design of Structures*, 33.

склопа. „Обезбеђењем веза које су јаке као и делови које повезују, степен робусности против непредвиђених дејства ће бити обезбеђен“.<sup>203</sup>

### **Топлотни комфор**

„Топлотни комфор представља психолошко стање које одговара угодном осећају топлотних услова у простору, односно, којима је постигнута топлотна равнотежа организма“ (Правилник о енергетској ефикасности зграда, "Сл. гласник РС", бр. 61/2011. Обзиром на то да свака особа другачије доживљава термалне услове средине, циљ је обезбедити просечне, оптималне услове комфора, у складу са наменом простора, у оквиру којих ће се корисници адаптирати. Степен оствареног ваздушног комфора процењује се на основу наведених параметара у табели 2.

Начини помоћу којих ће се обезбедити топлотни комфор за кориснике имају велики утицај на потрошњу енергије у зградама. Када је у питању конструкција зграде, њено адекватно решење може допринети већем топлотном комфору уз истовремено редуковање потрошње енергије за грејање и хлађење. У том смислу, опредељење за одређени тип конструкције треба да буде условљено климатским факторима. Исти принципи који се тичу обликовања и материјализације конструкције у контексту енергетске ефикасности зграда, са циљем оптимизације токова топлоте и флуида, односно минимизовања температурних флукуација у унутрашњим просторима, који се односе се на комбинацију редукције топлотне кондукције и конвекције, и адекватне топлотне масе, тичу се и обезбеђивања адекватних услова топлотног комфора. Као што је већ наведено потребно је лимитирање коефицијента пролаза топлоте, односно повећање топлотне отпорности конструкције, уз истовремено минимизовање топлотних мостова. Такође, неопходно је остварење довољне заптивености склопа, односно редуковање топлотне конвенције, тј. цурења ваздуха, како би се спречили топлотни губици, као и формирање конструкције са одговарајућом топлотном масом, у складу са климатским факторима, са циљем редукције температурних флукуација.

Топлотна својства материјала од којих је израђена конструкција, поред тога што утичу на температуру унутрашњих простора, утичу и на температуру унутрашњих површина (радијантну температуру), која је битан елемент топлотног

---

<sup>203</sup> Chapman, „Learning from failures“, 100.



комфора.<sup>204</sup> У случају контролисане примене топлотне масе конструкције, могућа је појава разлике између температура унутрашњег ваздуха и температуре унутрашњих површина. У летњем периоду, ноћу охлађена конструкција (природно или принудно), може током дана имати ниже температуре од температура ваздуха и допринети ефекту хлађења. Са друге стране, у зимском периоду, загрејана конструкција може имати више температуре од температура унутрашњег ваздуха и тиме допринети ефекту загревања, односно осећају угодности.

На осећај угодности у простору утиче и однос температуре и влажности ваздуха. На влажност ваздуха у унутрашњим просторима ће утицати и примењени материјали конструкције, односно њихова хигроскопска својства.<sup>205</sup> Челичне конструкције не учествују у регулацији влажности ваздуха унутрашњих простора. Са друге стране дрво и бетон имају способност апсорбовања влаге из ваздуха и њеног одавања и могу допринети процесу регулације влажности, сразмерно степену апсорпције.<sup>206</sup> Треба имати у виду да једнако значајни процеси влажења и исушивања конструкције могу бити поремећени у случају високо изолованих зграда, када је и повећан ризик за појаву конденза и штету насталу влажењем.<sup>207</sup>

### **Квалитет унутрашњег ваздуха – ваздушни комфор**

„Ваздушни комфор представља услове којима се обезбеђује потребна количина чистог ваздуха у згради, односно којима се обезбеђује квалитет унутрашњег ваздуха који је без ризика по здравље корисника“ (Правилник о енергетској ефикасности зграда, "Сл. гласник РС", бр. 61/2011).

Квалитет унутрашњег ваздуха утиче на здравље корисника и њихову способност за обављање активности. Циљ је обезбедити потребну количина свежег ваздуха по кориснику и минимизовати негативне утицаје на корисничково здравље, преко минимизовања: емисија штетних гасова из система и материјала, радијације из материјала, присуства микроба, честица и микровлакана. Циљ је минимизовати и присуство непријатних мириса различитог порекла, укључујући и непријатне мирисе

---

<sup>204</sup> Kaynakli and Yigit, „Effects of radiant temperature on thermal comfort“, 3210–3220.

<sup>205</sup> Padfield and Jensen, Humidity buffering of building interiors by absorbent materials“, 475 – 482.

<sup>206</sup> Bjorn Berge, *The Ecology of Building Materials* (Oxford: Elsevier, 2000).

<sup>207</sup> J. Straube and J. Smegal, *Building America Special Research Project: High-R Walls Case Study Analysis* (Research Report– 0903) (Building Science Press, 2009).

из материјала. Степен оствареног ваздушног комфора процењује се на основу наведених параметара у табели 2.

На квалитет ваздуха у унутрашњим просторима зграде утицаће, између осталог и могућност измена ваздуха кроз омотач зграде. Уколико су материјали омотача зграде, укључујући и материјале од којих су изведени носећи зидови, пропусни за ваздух, биће остварен већи квалитет ваздуха. На овај начин ће се уједно редуковати и могућност појаве претераног влажења зидова и буђи. Појава буђи могућа је и у зонама термичких мостова, као последица стварања кондензације у тој зони. Осетљива места представљају и спојеви носећих елемената. Временом, спојеви конструктивних елемената који су непропусни за ваздух и тиме и влагу (спојеви носећих панела), попуштају услед дејства различитих оптерећења, што омогућава продор влаге у зону споја и развој буђи.<sup>208</sup>

Када је у питању квалитет унутрашњег ваздуха битно је минимизовати присуство материјала који емитују штетне супстанце. Неке врсте термоизолационих материјала у склопу конструкције могу имати висок садржај испарљивих органских једињења, као што је формалдехид. Када је у питању процесирано дрво за примену у носећим конструкцијама, присуство формалдехида је значајно редуковано, обзиром на примену посебне категорије адхезива отпорних на влагу, са ниским емисијама. Токсични ефекти су могући у случају примене пигмената и премаза за бетон, средства за заштиту дрвета и челика, који такође могу садржати испарљива органска једињења. У многим земљама, у оквиру стамбене средине више није дозвољена употреба хромираног бакар арсената за презервацију дрвених конструкција, обзиром на токсичне ефекте. Кључно је специфицирање система заштите конструктивних елемената који не садрже високе концентрације испарљивих органских једињења и других токсичних супстанци.

### **Акустички комфор**

„Звучни комфор представља услове у којима је ниво буке у просторији такав да не изазива осећај непријатности“ (Правилник о енергетској ефикасности зграда, "Сл. гласник РС", бр. 61/2011).

---

<sup>208</sup> C. Morgan, *Design and Detailing for Airtightness-SEDA Design Guides for Scotland*:No. 2 (SEDA, 2006).

Акустичко окружење у унутрашњем простору је резултат стизања звука из различитих извора. Извори могу бити везани за спољно окружење, инсталиране системе у згради и људски говор и активности. Циљ је постићи одговарајући ниво и квалитет жељеног звука и смањити или елиминисати нежењене звуке, односно буку, како би се минимизовали негативни ефекти по здравље корисника и повећао осећај угодности. Циљ је редуковати ниво звучног притиска у простору, односно обезбедити прихватљив ниво буке за одређене људске активности, према намени простора, преко контроле буке на самим изворима или на путевима преношења, односно преко уградње тихих система и опреме, као и адекватне изолације зидова и подова од ваздушног звука и звука удара. Степен оствареног акустичког комфора процењује се на основу наведених параметара у табели 2.

Како би се смањили или елиминисали нежењени звуци, односно бука и постигао одговарајући ниво, тј. квалитет жељеног звука потребно је: контролисати буку на путевима преношења употребом акустички ефикасних материјала и склопова који омогућавају бољу контролу звука, односно адекватну изолацију од ваздушног звука и од звука удара унутрашњих и спољашњих грађевинских елемената (зидови, таванице);<sup>209</sup> употребити материјале и склопове одговарајућих акустичких перформанси (рефлексија и апсорпција), односно материјале и склопове који дају адекватан акустички одзив простора, односно одговарајућу чујност и квалитет корисних звукова. Основни акустички услов за преграде односи се на минималне вредности њихових изолационих својстава које се морају остварити на појединим позицијама у згради, а према активностима корисника које диктирају услове које треба задовољити (становање, рад, праћење звучних појава).<sup>210</sup> Вредности изолационе моћи, односно индекса звучне редукције архитектонских преграда  $R_w[db]$  и изолације од звука удара  $L_n[db]$ , зависе од њихових физичких својстава: површинске масе (дебљине слојева и густине материјала) и сложености унутрашње структуре. У том смислу, захтеви за минималну изолациону моћ преграде на некој

---

<sup>209</sup> Према важећим прописима (СРПС У.Ј6.201:1990 - Акустика у грађевинарству - Технички услови за пројектовање и грађење зграда), утврђују се минималне вредности звучне изолације и максимални дозвољени ниво звука удара.

<sup>210</sup> Прописи у Србији предвиђају вредност индекса звучне редукције од  $R_w=52db$  за зид и таваницу између два стана. Армиранобетонски носећи зид или плоча дебљине 15cm имају изолациону моћ од 51db, што према прописима, за случај стамбених зграда, није довољна изолациона моћ. У том случају потребни су додатни слојеви који ће осигурати довољан ниво звучне изолације.

позицији у згради, утврђени стандардом, могу се превести на услове избора материјала од кога се израђује преграда, њену унутрашњу конструкцију и укупну дебљину.<sup>211</sup>

При пројектовању архитектонских преграда треба имати у виду следеће: сваком звучном поремећају биће теже да изазове подрхтавање било које препреке утолико уколико је она инертнија (тежа) односно уколико има већу масу (принцип повећања масе).<sup>212</sup> Међутим, повећање површинске масе једноструке монолитне преграде, како би се побољшала њена звучно изолациона својства, често није рационално решење због пораста тежине. У том случају могуће је формирати дисконтинуитет у унутрашњој структури преграде. Дисконтинуитет се пре свега односи на промену густине  $\rho$  (kg/m<sup>3</sup>) средине, обзиром на то да је прелазак звучне енергије из једне средине у другу мање ефикасан, што је разлика у њиховим густинама већа. Наведено се постиже формирањем вишеструких преграда „сендвич конструкција“ (принцип механичког раздвајања), сачињених од два или више слојева чврстог материјала, између којих се налази слој ваздуха или порозног апсорпционог материјала (звучна енергија се претвара у топлоту). Изолациона својства таквих преграда примарно одређују тежина и међусобно растојање чврстих слојева, као и начин њихове везе.

Ниво звучне редукције иза преграде, условљен је фреквенцијом емитованих звучних таласа. Познавање понашања елемента при различитим фреквенцијама потребно је за оцену степена звучне изолације. Поједине преградне конструкције могу имати повољна изолациона својства када је у питању редукција звука високе фреквенције (говор, вика, музика виших тонова), док истовремено могу бити неодговарајуће за редукцију звука нижих фреквенција (скакање, ходање, удари, лифтови, веш машине).<sup>213</sup>

При анализи акустичких својстава преградних конструкција, треба имати у виду да су сендвич конструкције склоне резонанцији и да су, у том смислу, њихова акустичка својства условљена звучном фреквенцијом. Уколико су звучне

---

<sup>211</sup> Мјјић, *Akustika u arhitekturi*, 89-91.

<sup>212</sup> "Закон масе" потврђује следеће поређење: „Преграда од лаког бетона (гасбетон) треба да има дебљину чак 22cm да би приближно остварила изолациону моћ коју имају преграде од само 7cm обичног армираног бетона или обострано малтерисаног зида од пуне опеке на кант“ (Мјјић, 90.).

<sup>213</sup> Мјјић, 97-105.

фреквенције ниже од резонантне, овакви системи могу погоршати акустичке перформансе простора. Бетонске таванице са мањим или већим шупљинама, које чак и када имају исту површинску масу као хомогени подови, могу у одређеним ситуацијама имати лошија акустичка својства због појаве резонанције у шупљинама. У појединим ситуацијама могуће је додати апсорпционе материјале у шупљине сендвич конструкција, чиме се снижавају вредности резонантне фреквенције целог система и унапређују његова акустичка својства (принцип апсорпције).

Када је у питању изолација од звука удара  $L_n[db]$ , већина савремених преградних таваничних конструкција, подразумева додатне слојеве пода, који треба да редукују превођење звука удара, углавном од ходања, како би се обезбедиле адекватне акустичке перформансе простора. Три елемента одређују укупне акустичке перформансе таваничног система: носећа конструкција, решење пода и решење плафона. У пракси су се, генерално, бетонски подови показали као незадовољавајући када је у питању изолација од звука удара, уколико немају додатни слој.

Уколико су носеће структуре монолитне и тешке, као што је случај код масивних бетонских или зиданих конструкција са бетонским таваницама, принцип по коме се анализа звучне изолације врши само на основу сагледавања изолационе моћи архитектонских преграда је задовољавајући, обзиром на то да овакве конструкције одликује равномерна дистрибуција енергије звука и вибрација унутар структуре. Међутим, код монтажних система, а посебно оних мале површинске масе, степен звучне изолације између две просторије не може се утврђивати само на основу изолационих својстава појединачних преграда.<sup>214</sup> Код оваквих система, бочно превођење или индиректна трансмисија ваздушног звука и звука удара, која се односи на преношење звучних вибрација кроз елементе структуре, може бити доминантан облик звучне трансмисије. Већи део вибрационе енергије се у том случају преводи кроз спојеве конструктивних елемената у суседну просторију, у којој долази до радијације пренетог структурног звука.<sup>215</sup>

---

<sup>214</sup> Stefan Schoenwald, „Flanking sound transmission through lightweight framed double leaf walls – Prediction using statistical energy analysis“, PhD diss., Technische Universiteit Eindhoven, 2008.

<sup>215</sup> Бочно провођење звука карактеристично је за конструкције од ламелираних дрвених панела. Само 3% укупне звучне трансмисије одвија директно кроз панеле, док се 97% преводи бочно (*Massivtra Handboken. Industiekonsortiet Massivtra*. Quoted in Boellaard and Lootens, „Massive Timber Structure in a Multi-Storey Housing Design – An integrated architectural and engineering approach“, Master Thesis, Lulea

Пројектантска решења која омогућавају потребан ниво акустичког квалитета простора подразумевају пре свега адекватну материјализацију и обликовање елемената унутрашњег простора. При пројектовању комбинују се интервенције у следећим доменима: избор адекватних материјала и текстура, примена адекватних конструкција и примена адекватних облика.<sup>216</sup> Појаве у звучном пољу које се анализирају су: време реверберације, дифузност и прве рефлексије.<sup>217</sup> На време реверберације утичу запремина и облик простора и количина и локација звучних апсорбера у простору. Време реверберације зависи од способности конструкција да апсорбују звучну енергију, која се изражава коефицијентом апсорпције, који је функција материјала, фреквенције и угла упада звука. Подешавајући материјализацију амбијента, односно бирајући материјале и склопове према њиховим способностима упијања звучне енергије и оптимизацијом њиховог положаја у просторији, може се утицати на време реверберације.

### **Операциони комфор**

Операциони комфор односи се на могућност контроле одређених параметара термалног, ваздушног, светлосног и акустичког комфора, од стране корисника. Циљ је омогућити индивидуалну/зоналну контролу температуре током сезоне грејања и хлађења, контролу природне и вештачке вентилације, природног и вештачког осветљења, уређаја за заштиту од директног сунчевог зрачења и бљеска, акустичких својстава простора, како би се избегли негативни ефекти по здравље корисника и повећао осећај угодности.

### **Квалитет воде**

Циљ је обезбеђење функционалног система за снабдевање здравом и чистом водом, како би се заштитило здравље корисника од негативних ефеката било које врсте контаминације воде, настале као последица водоводног система у згради.

---

University of Technology, 2007. 30.). Изолациона својства се постижу уградњом пливајућих подова и viseћих плафона што повећава потрошњу материјала и цену градње у овом систему.

<sup>216</sup> Мјијић, *Akustika u arhitekturi*, 96.

<sup>217</sup> Време реверберације представља време за које ниво звука у просторији опадне за 60dB од тренутка престанка побудног сигнала. Дифузност се односи на равномерност простирања звучне енергије у простору. Прве рефлексије односе се на рефлектовање звучне енергије од површина, доминантно одређене геометријским особинама простора.

Степен оствареног квалитета воде процењује се на основу наведених параметара у

## **Табела 2.**

### **Ниво електромагнетних поља**

Дуготрајно и хронично излагање електромагнетним пољима, посебно пољима фреквенције 50-60Hz, има штетне ефекте по здравље корисника. Циљ је минимизовати дејстава електромагнетног загађења идентификацијом извора и мерама да се лимитирају њихови утицаји. Индикатор нивоа електромагнетног загађења је јачина електромагнетног поља у просторима у којима постоји дуготрајна и хронична изложеност корисника. Потребно је дефинисати максималне јачине поља којима у одређеном временском периоду може бити изложен људски организам.

Метални елементи у конструкцији могу појачати електромагнетна поља што може водити порасту стреса и депресије.<sup>218</sup> Истраживања указују на то да армиранобетонски зидови и таванице могу појачати ефекте електромагнетне радијације у унутрашњим просторима, услед рефлексија и суперпонирања електромагнетних таласа. “Густина енергије може бити у најгорем случају и до 5 пута већа него густина енергије таласа на правцу извора”.<sup>219</sup>

### **Лака приступачност просторима зграде**

Циљ је да се особама са инвалидитетом, деци и старим особама осигура несметано кретање и приступ просторима зграде (Закон о планирању и изградњи, "Сл. гласник РС", бр. 72/2009, 81/2009 - испр., 64/2010 - одлука УС, 24/2011, 121/2012, 42/2013 - одлука УС и 50/2013 - одлука УС). Процењује се ниво до кога је употреба зграде могућа за све људе.

### **Заступљеност потребних садржаја**

Циљ је да се обезбеди присуство свих потребних садржаја, одговарајућих функционалних перформанси, према намени зграде и у складу са потребама и очекивањима корисника. Процењује се ниво до кога предвиђени програмски садржаји задовољавају потребе и очекивања корисника током употребе зграде.

---

<sup>218</sup> Berge, *The Ecology of Building Materials*, 191.

<sup>219</sup> Geromiller and Farschtschi, „Electric Fields in Housing Spaces Due to Electromagnetic Radiation“, 44-46.

### Квалитет организације садржаја

Циљ је остварити ефективну просторну организацију активности корисника.

Концепти треба да се заснивају на просторним стандардима, али и на специфичним потребама корисника, при чему просторни стандард треба схватити као временски променљиву категорију.<sup>220</sup> Потребно је обезбедити адекватно смештање предвиђених садржаја, односно несметано одвијање предвиђених активности, што подразумева одговарајуће димензије простора и његових делова. Релације између појединих зона треба да буду у складу са предвиђеном функцијом простора и његових делова. Комуникационе везе између појединих зона треба да буду лако сагледиве, по могућству, праве и кратке. У процесу креирања релација и веза појединих зона простора, треба имати у виду да је просторна организација, односно просторно уређење, заправо уређење релација између људи.<sup>221</sup> Процењује се степен остварења просторног стандарда у појединим зонама, односи између зона, комуникационе везе и степен задовољења потреба и очекивања корисника (субјективна оцена).

Димензије простора, релације између појединих зона и комуникационе везе између појединих зона, су у великој мери дефинисане конструктивним елементима зграде. Уколико се физички простори, дефинисани елементима конструкције, не подударaju са социјалним, дефинисаним активностима корисника, зграда се неће доживети као „исправна“. Било која форма конструкције која чини немогућим да се оствари жељена функција (улога) простора прави „социјалну штету“.<sup>222</sup> У том смислу, елементи конструкције треба да буду распоређени тако да окупирају само пресечне зоне социјалних простора. Циљ је остварити најефикаснију конструкцију за дати систем простора.<sup>223</sup> Различити социјални простори захтевају различиту форму конструкције (Слика 18 и Слика 19).

---

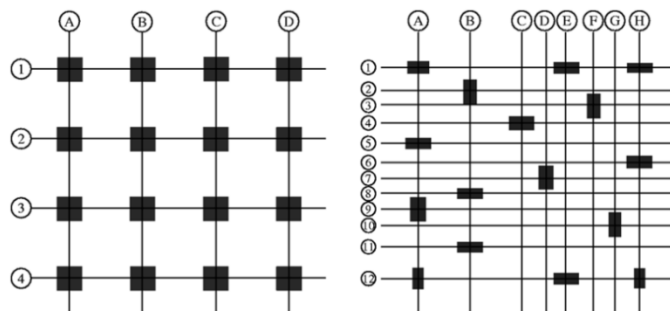
<sup>220</sup> Petar Arsić, „Теорија простора и тоталитет“ (SciTech 5, 2004).

<sup>221</sup> B. Hillier and J. Hanson, *The social logic of space* (Cambridge University Press, 1989).

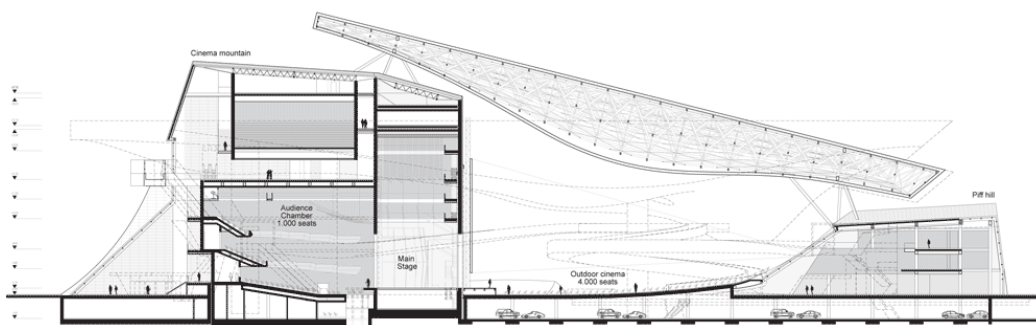
<sup>222</sup> Alexander, Ishikawa and Silverstein, *A Pattern Language*, pattern 205.

<sup>223</sup> Ibid.



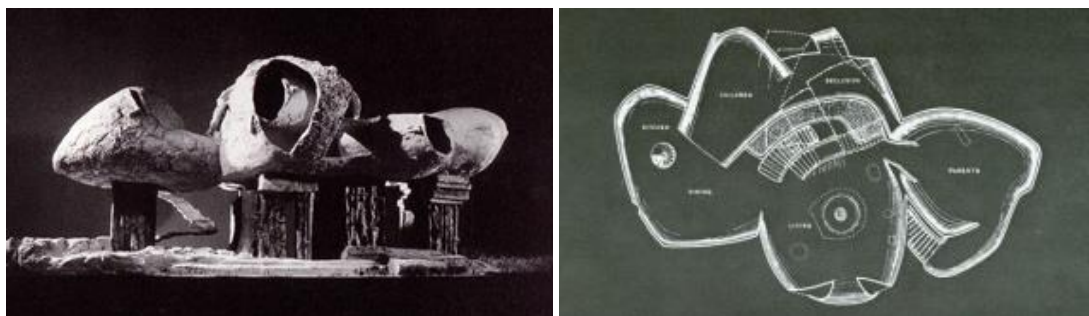


Слика 18. Конструкција и социјални простор – основа. [Извор: Илустрација аутора]



Слика 19. Конструкција и социјални простор – попречни пресек. Мултифункционални центар у Бусану, у Јужној Кореји, 2012., архитектонско решење Куп Химелб(л)ау. [Преузето са <http://www.dezeen.com/2012/09/18/busan-cinema-centre-by-coop-himmelblau/>, 15.2.2011.]

Истражујући полазишта архитектуре, Фридрих Кислер заснива структуру на основу визије која прати социјалну реалност (Слика 20), за разлику од Фреи Ота и Хајнца Ислера који при реализацији својих структура примарно прате законе физике, односно параметре механичке ефикасности.<sup>224</sup> Процес оптимизације структуре је у оваквом приступу њено пажљиво усклађивање са људима и њиховим потребама.<sup>225</sup>



Слика 20. Фредерик Кислер, „Endless House“, 1947–1961, модел, основа. [Преузето са <http://www.archdaily.com/126651/>, 30.2.2011.]

<sup>224</sup> Kloft, „Non-Standard Structural Design for Non-Standard Architecture“, 138.

<sup>225</sup> Kiesler, “On Correalism and Biotechnique”, 60–75.

### **Погодност простора за пренамену**

Потребе које зграда или њени делови треба да задовоље временом се могу мењати. Већа могућност за пренамену простора зграде постаје, у том смислу, битан предуслов за продужење периода употребе зграде у односу на планирани, што може бити оправдано и са економског аспекта и аспекта заштите животне средине. Наведено се може постићи уколико је промена намене остварива уз низак ниво употребе ресурса. Промена намене може се остварити уз минималне интервенције, уколико су у питању простори погодни за реализацију нових активности. Уколико простор није адекватан за реализацију нових активности, промена намене тада подразумева адаптацију или реконструкцију простора, које захтевају виши ниво интервенције и употребу веће количине ресурса. Адаптација простора, која може укључити замену опреме и инсталационих система истог капацитета и која искључује интервенције на конструктивним елементима и измене спољног изгледа зграде, има предност над реконструкцијом која може укључити измену технолошких процеса, конструктивних елемената и спољног изгледа зграде.

Процењује се погодност простора за реализацију различитих активности, могућност различитог уређења и опремања простора без радикалних интервенција, прилагодљивост система зграде и могућност интервенције у унутрашњем простору уз истовремену минималну интервенцију на спољном омотачу.

Како би се омогућило остварење просторне организације нових активности постојећих или нових корисника уз низак ниво употребе ресурса, потребно је да простор, преваходно корисни, буде у што већој мери ослобођен унутрашњих физичких препрека (стубови и носећи зидови, инсталациони водови и уређаји), обзиром на то да оне лимитирају могућност различитог уређења и опремања простора без радикалних интервенција. Потребно је да зграда поседује могућност једноставног прилагођавања система, примарно инсталационих, новој намени простора (једноставан приступ и могућност уклањања, измештања, замене, повећања капацитета и сл.). Такође је потребно да решење спољног омотача зграде буде такво да су омогућене интервенције у унутрашњем простору без радикалних измена спољног изгледа зграде. Наведено подразумева успостављање избалансираног односа између статичне матрице и матрице варијабилних елемената архитектонског

простора.<sup>226</sup> Потребно је омогућити лаку раздвојивост оних елемената простора који имају значајно различит технички и економски век. У том контексту, повољније су везе елемената остварене завртњевима од лепљених, заварених или ливених на лицу места.<sup>227</sup> Лака физичка раздвојивост кључних „слојева“ зграде: конструкције (просечни животни век преко 50 година), инсталација (просечни животни век око 15 година) и лаких унутрашњих преграда (просечни животни век око 6 година),<sup>228</sup> како би се повећала адаптивност простора, треба да буде остварена уз истовремену интеграцију на функционалном нивоу, у смислу контроле токова топлоте, ваздуха, светла, звука и влаге, у оквиру зграде као целине.<sup>229</sup>

Како би простори зграда током животног циклуса могли да функционишу као као простори различитих намена (стамбени, пословни, хотелски, продајни...), потребно је реализовати веће распоне (од минимум 7.5 до 12m) и веће чисте висина простора (минимум 2.7m).<sup>230</sup> Такође, потребно је остварити резерву у носивости конструкције, примарно у величини покретног оптерећења, према очекиваним новим наменама, али и у односу на процењене могуће надоградње. Потребно је сачувати пројектну документацију о елементима конструкције, како би се могло ефективно одлучивати у вези са будућим опцијама. Потребно је осигурати трајност конструкције, кроз осигурање лакших поправки, одржавања или замене компоненти, што између осталог подразумева примену лако доступних материјала, стандардизованих компоненти и једноставних детаља конструкције.

У случају реконструкције простора која подразумева инкорпорирање нових конструктивних елемената, дрвене и челичне конструкције су повољније од армиранобетонских, обзиром на релативно лако остварење веза нових конструктивних елемената са постојећом конструкцијом. Армиранобетонске конструкције нуде лимитиране могућности за интервенције и у случају накнадног формирања отвора у површинским носећим елементима.

---

<sup>226</sup> Božović-Stamenović, 64.

<sup>227</sup> N.K. Larsson, „Sustainable Development and Open Building“, Presentation to CIB TG26, Brighton, UK, 1999; Gorgolewski et al., *Facilitating Greater Reuse and Recycling of Structural Steel in the Construction and Demolition Process* (Project final report) (Ryerson University, 2006).

<sup>228</sup> Russell and Moffatt, *Assessing Buildings for Adaptability*, 8.

<sup>229</sup> Ibid.

<sup>230</sup> Beadle et al., „Adaptable futures: sustainable aspects of adaptable buildings“, 1125–1134; Reid Architecture and Buro Happold, *Multispace: Adaptable Building Design Concept* (Unpublished Report), 2005.

### **Лакоћа одржавања зграде**

Одржавање зграде односи се на низ активности које имају за циљ обезбеђење ефикасног функционисања зграде и одржање њене вредности. Одржавање зграде односи се на редовно извођење радова који укључују чишћење, прегледе и сервисирање, поправку оштећених и замену дотрајалих делова. Адекватним одржавањем зграде, њених делова, инсталација, уређаја, постројења и опреме, обезбеђује се сигурност, исправност, употребљивост и продужење животног века зграде, што је оправдано са социјалног, економског и аспекта заштите животне средине. Циљ је обезбедити ефикасност одржавања зграде, током очекиваног употребног века, које подразумева максималне ефекте уз минимум улагања људских, материјалних и финансијских ресурса. Процењује се приступачност за одржавање, учесталост одржавања, обим радова на одржавању и начин одржавања (врста радова и организација посла).

Ефикасност одржавања превасходно је условљена могућношћу зграде да одржи своје перформансе током очекиваног употребног века, односно поузданошћу и трајношћу зграде, њених делова, инсталација, уређаја, постројења и опреме, као и оствареном приступачношћу за њихово одржавање.

Трајност и поузданост конструкције зграде могуће је остварити применом адекватних материјала и производа, по питању својстава и понашања, познавањем утицаја климатских и геолошких услова, применом начина и поступака изградње прилагођеним условима у окружењу, адекватном комуникацијом између пројектанта и извођача, као и адекватном проценом понашања корисника када је у питању предвиђено одржавање. Пројектовање конструкције треба да подразумева истовремено разматрање питања функције, носивости и употребљивости, технологије извођења и начина на који пропадају, као и мера за редуковање могућих негативних утицаја, односно план одржавања конструкције током пројектованог животног века.

Конструкцију, током употребног века зграде, треба да одликује задовољавајући ниво поузданости (очување носивости и употребљивост, као и боје и текстуре примењених конструктивних материјала), који се може одржавати на економичан начин. Конструкција током предвиђених дејстава, треба да претрпи никаква или минимална оштећења, у пројектованом временском периоду. Наведено

је посебно важно обзиром на то да је дужина животног века зграде условљена трајношћу њене конструкције. У случају оштећења конструкције (губитка функционалности) зграда не може да функционише, обзиром на то да постоји ризик од колапса. Санације конструкције могу често бити технички веома захтевне и економски неисплативе.<sup>231</sup>

Током времена конструкције пропадају, односно мијењају својства (појава пукотина, корозије, гљивица...), као последица изложености различитим врстама оптерећења и агресивности околине (удари, ветрови, земљотреси, атмосферска дејства, дејство соли, дејство воде, влаге...), чиме се смањује њихова носивост (губитак стабилности, лом, замор материјала) и употребљивост (замор материјала, деформације) и мењају визуелна својства (боја, текстура, облик).<sup>232</sup> Циљ је пројектовање оптималне трајности, уз редовно одржавање, која одговара просечном предвиђеном употребном веку за предвиђену намену (Табела 7).

**Табела 7** - Категоризација објеката с обзиром на употребни век конструкције према EN 1990: 2002

Категорија	Прорачунски употребни век [год]	Примери
1	10	Привремени објекти
2	10 до 25	Заменљиви делови конструкције, носачи, лежишта
3	15 до 30	Пољопривредни и други слични објекти
4	50	Зграде и сличне конструкције
5	100 и више	Монументалне зграде или објекти, мостови

[Извор: EN 1990: 2002, Evrokod 0: *Osnove proračuna konstrukcija*, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2002, 87]

Употребни век конструкције зависиће од: степена изложености различитим утицајима (физичким, хемијским, климатским, биолошким); квалитета примењених материјала (физичке структуре и хемијске композиције), односно њихове подложности пропадању и трошењу и примењених мера заштите (премази...); начина на који су материјали примењени, односно глобалне концепције и детаља (спојева између елемената, детаља армирања...); квалитета извођења (уједначен квалитет дуж

<sup>231</sup> J. Korytarova, „Economic Consequences Related to Durability and Reliability of Construction - Basic principles and Optimisation“, Centre for Integrated Design of Advanced Structures, Brno University of Technology, 2006.

<sup>232</sup> Folić, „Durability design of concrete structures“, 1-18.

пресека и елемената); квалитета одржавања (редовност чишћења, контроле, обнове заштите, санације оштећења, поправке или замене дотрајалих делова).<sup>233</sup> Кључно је разматрање потенцијалних механизма разарања конструкције, који могу бити следеће природе: механички - преоптерећеност, замор, удари, пожари...; климатски - мржњење и одмрзавање, температурне промене, ветар, земљотреси...; хемијско-технолошки - карбонизација, корозија, хемијска дејства...; биолошки - гљивичне заразе, напади инсеката и бактерија.

Када су у питању материјали од којих се израђује конструкција, потребно је познавање њихових својстава: физичке структуре, густине, чврстоће при притиску, чврстоће при затезању, термалне проводљивости, термалне експанзије, садржаја влаге, термалног капацитета, порозности, ваздушне проводљивости, паропропусности и хемијске композиције. Такође, потребно је разматрање механизма могуће деградације материјала, што подразумева утврђивање агресивности околине и предвиђање могућег дејства агресивних супстанци, затим утврђивање механизма транспорта и разарања и параметара који контролишу те механизме, као и утврђивање начина да се успори или спречи транспорт и накупљање агресивних супстанци, односно разарање. Потребно је бирати нереактивне или инертне материјале.

Трајност није искључиво везана за материјал и његова својства. Адекватни детаљи могу резултовати већом заштитом компоненти од фактора деградације и повећати употребни век конструкције. Спојеви представљају потенцијално осетљивија места у експлоатацији. У конструкцији не треба спајати елементе од материјала који убрзавају пропадање другог материјала у вези. У супротном треба онемогућити директан контакт применом изолационих слојева или премаза. Такође, потребно је у склопу бирати материјале са истим коефицијентом термалне експанзије.<sup>234</sup> Уколико постоји разлика у понашању при температурним променама, у елементима композитних система расту напрезања, која могу довести до убрзане деградације склопа. Посебно су осетљиви спојеви челика и стакла. У том случају потребно је омогућити померања на спојевима/чворовима. Овде треба имати у виду

---

<sup>233</sup> *Savremeni koncept obezbeđivanja trajnosti betonskih konstrukcija - projektovanje prema upotrebnom veku*, (predavanje održano u Inženjerskoj komori Srbije, predavač I. Ignjatović).

<sup>234</sup> Управо је ова особина материјала омогућила формирање армираног бетона, обзиром да је ово својство исто и код челика и код бетона.

не само спојеве унутар конструкције, већ и спојеве конструкције и других елемената зграда, нпр. конструкције и фасаде, где је посебно осетљив спој челичне конструкције и стакла, у коме може доћи до лома везе или стакла уколико није омогућено независно померање елемената у споју. При обликовању детаља конструкција које се налазе у спољној средини, поред анализе пута сила, потребна је анализа кретања воде. Детаљи треба да буду обликовани тако да се елиминишу задржавање воде на елементима конструкције. Када је у питању конструкција у склопу фасадног зида, потребна је хигротермална анализа, како би се предвидео потенцијални хигротермални ризик, односно ризик за штету насталу влажењем. Анализа ризика везаних за утицај влаге укључује три различита процеса: влажење, сушење и редистрибуцију влаге. Влажење може бити последица кише, кондензације у зони пукотина услед продора ваздуха, кондензације током дифузије водене паре кроз склоп зида, цурења инсталација, влаге у самој конструкцији. Потребно је минимизовање наведених утицаја пре свега кроз могућност исушивања. Повољна су решења која омогућавају исушивање и ка ентеријеру и ка екстеријеру (веома је битан положај парне бране у склопу зида). Посебно су осетљиви савремени склопови са повећаном количином изолације који се спорије исушују, код којих се јавља ризик од појаве кондензације и буђи, уз већи потенцијал за убрзано пропадање материјала. Циљ је избећи кондензацију у зони конструкције, односно велике температурне разлике у тој зони. Посебно су осетљиви панелни системи код којих постоји већи ризик за продор влаге кроз спојеве и пукотине, а посебно уколико су примењени материјали осетљиви на влагу. У контексту наведеног, повољна је примена донекле хигроскопних материјала, који нису осетљиви на влагу, и то у склоповима који омогућавају исушивање.<sup>235</sup>

Потребно је обезбедити лак приступ свим деловима конструкције, како би се могло спроводити одржавање. Потребно је обезбедити могућност лаке поправке, као и могућност замене виталних и лако трошивих или оштећењима подложних делова. У композитним системима и елементима, уколико је раздвајање неизводљиво, треба избегавати комбинацију материјала различите трајности.

---

<sup>235</sup> J. Straube and J. Smegal, *Building America Special Research Project: High-R Walls Case Study Analysis* (Research Report– 0903) (Building Science Press, 2009); Robert Lepage, „Moisture Response of Wall Assemblies of Cross-Laminated Timber Construction in Cold Canadian Climates“, Master Thesis, University of Waterloo, 2012.

## Бетонске конструкције

Многе изграђене армиранобетонске конструкције, посебно оне у спољној средини, пропадају брже него што је очекивано.<sup>236</sup> Трајност мања од очекиване често резултира преурањеном заменом бетонских конструкција, а тиме и већом употребом ресурса. Редукована трајност је резултат бројних фактора, али је најчешће последица неадекватног састава бетонске мешавине и неадекватне уградње. Бетон може бити трајан у многим срединским условима уколико се адекватно пројектује и изведе. Мешавине се могу пројектовати тако да се задовоље спецификације перформанси. Пре свега је потребно разматрање услова средине и механизма пропадања. Механизми пропадања армиранобетонских конструкција су бројни и врло различити: температурне варијације са термичким скупљањима и ширењима, варијације релативне влажности, скупљање услед сушења и ширење услед влажења, циклуси смрзавања и одмрзавања, хабање и абразија; корозија арматуре, пенетрација хлорида, карбонизација, нагризање киселинама и сулфатима, реакција алкалија и агрегата; утицаји и оптерећења, замор, различита слегања фундамената, сеизмичке активности, итд. Сви ови процеси могу проузроковати или погоршавати оштећења материјала, смањујући интегритет и капацитет носивости бетонске конструкције.<sup>237</sup> Утицај околине се везан је класу изложености елемената конструкције током употребе (EN 206-1).<sup>238</sup> Потребно је изабрати тип и класу конститутивних материјала, односно састав бетона, као и дефинисати правила извођења и неге, према специфичним условима у окружењу, односно према класи изложености. Потребно је испунити захтеве који се односе на минималну дебљину заштитног слоја, максималну ширину прелина, максимални водоцементни фактор, минимални садржај цемента, минималну класу чврстоће бетона<sup>239</sup> и минимални садржај увученог ваздуха.<sup>240</sup>

---

<sup>236</sup> Mehta, „Durability: Critical Issues for the Future“, 69-76.

<sup>237</sup> *Savremeni koncept obezbeđivanja trajnosti betonskih konstrukcija - projektovanje prema upotrebnom veku*, (predavanje održano u Inženjerskoj komori Srbije, predavač I. Ignjatović).

<sup>238</sup> Класе изложености бетонске конструкције (EN 206-1): 1 – нема ризика; 2 – карбонизација; 3 – хлориди који нису из мора; 4 – хлориди из мора; 5 – смрзавање и одмрзавање; 6 – хемијска корозија.

<sup>239</sup> За стандардне бетонске конструктивне елементе пропоручује се МБ40 (С30/37), са  $v/c$  од 0.5-0.55 и са количином цемента од 280-320 $kg/m^3$ .

<sup>240</sup> Аерирање бетона врши се са циљем повећања отпорности на мраз. Оптимални проценат увученог ваздуха је 4-6%.



Главни разлог пропадања армиранобетонских конструкција је корозија арматуре.<sup>241</sup> Смањује се попречни пресек арматуре и долази до пада носивости конструкције, у мери пропорционалној дубини корозије и дубини ољусканог дела заштитног слоја. На површини се јављају смеђе мрље или видна арматура. Заштита арматуре од корозије се првенствено постиже одговарајућим квалитетом и дебљином заштитног слоја, и контролом прслина. Квалитет бетона, а тиме и заштитног слоја, у смислу трајности, односно његова отпорност на климатске и хемијске утицаје средине, превасходно је условљена његовим транспортним карактеристикама: пропусношћу за воду и гасове и вредношћу дифузије. Транспортне карактеристике су условљене саставом бетона, односно водоцементним фактором и типом цемента, квалитетом извођења, односно постигнутом збијеношћу и хомогеношћу материјала, као и квалитетом неге, која контролише појаву термичких прслина, као и прслина услед пластичног скупљања.<sup>242</sup> Обзиром на то да се транспортне карактеристике бетона, мењају у зависности од заступљености прслина, потребно је ограничити ширину прслина. Заштита арматуре од корозије постиже се и одговарајућим дебљином заштитног слоја. Одговарајућим дебљином заштитног слоја обезбеђује се и боља прионљивост арматуре и бетона и већа пожарна отпорност конструкције. Проблем дебљине заштитног слоја често се јавља код конструктивних елемената мале дебљине. Такође, непожељна су и решења која одликује претерана набијеност арматуром, чиме се редукује могућност исправне уградње бетона, а тиме и адекватна заштита арматуре. Како би се редуковала појава корозије могућа је примена пасивне арматуре: челика за армирање премазаног епоксидом, нерђајућег челика и арматуре од синтетичких влакана. Могућа је и примена корозионих инхибитора, као додатака бетонској мешавини или оних који се наносе површински.<sup>243</sup> Такође је могуће третирање бетона заштитним премазима за смањење упијања (воде и гасова). Да би поступак био ефикасан, неопходно је да бетон нема прслина. Заштитни премази могу бити полимерцементни, епоксидни, полиуретански, акрилни и сл. Код избора

---

<sup>241</sup> Корозија се најчешће јавља као последица карбонизације бетона, која изазива пад pH вредности заштитног слоја, чиме се стварају предуслови за корозију арматуре. Већи волумен корозијских продуката води ка повећању унутарњег напрезања и даљем разарању пасивизирајућег слоја бетона, односно ка распуцавању и отпадању заштитног слоја.

<sup>242</sup> Ignjatović i Marinković, „Projektovanje betonskih konstrukcija prema upotrebnom veku, deo 1“, 3-15.

<sup>243</sup> Thangavel et al., „Migrating vs admixed corrosion inhibitors for steel in portland, pozzolona and slag cement concretes“, 81-93.

заштитних премаза морају се имати у виду њихове карактеристике (приоњивост, UV стабилност, отпорност на атмосферске утицаје, компактност, отпорност на киселе оксиде, паропропусност и сл.). Уколико се примени нерђајући челик или додатна заштита бетона у виду премаза, могуће је редуковати дебљину заштитног слоја.<sup>244</sup>

Многа својства бетона се могу поправити применом додатака бетону: повећање збијености, повећање механичке чврстоће са истом количином цемента, повећање ране чврстоће, повећана обрадљивост без повећања количине воде, побољшање водонепропустљивости, смањене хидроскопности, смањење скупљања, повећање отпорности на смрзавање и одмрзавање, повећање отпорности на агресивно дејство воде и хемијске нападе. Адекватна употреба додатака бетону утиче на повећање трајности. Трећина бетона који се угради у данашње конструкције је заснована на примени додатака. Треба имати у виду да потенцијално загађење средине које се може јавити због примене додатака бетону, још увек није у потпуности сагледано.<sup>245</sup>

Због присуства старог цементног малтера и постојања две контактне зоне, бетони на бази рециклираног агрегата имају већу пропустљивост за воду и ваздух од бетона на бази природног агрегата, а тиме и мању трајност. У ток контексту, није препоручљива њихова примена у агресивним срединама. Редукована је и отпорност на мраз. Поједини истраживачи, обзиром на наведено, предлажу да се лимитира учешће рециклираног агрегата на 20-30%.<sup>246</sup>

Када је у питању начин градње, применом бетона ливеног на лицу места теже се остварује жељени квалитет, због утицаја климатских услова и слабије контроле извођења, што се може негативно одразити на трајност. Са друге стране код монтажне градње у бетону проблематични су спојеви који представљају осетљива места, посебно при дејству земљотреса.

Како би се осигурала трајност конструкције, материјали треба да се могу лако поправити након оштећења, удара и сл. Када је у питању бетон, поправка оштећеног видног бетона је проблематична примарно са визуелног аспекта, обзиром на

---

<sup>244</sup> S. Mladenović, M. Pavlović i D. Stanojević, *Korozija i zaštita betona i armiranog betona* (Beograd: SISZAM, 2008).

<sup>245</sup> Task Group 3.4. *Environmental Effects of Concrete* (Report), *fib Bulletin* 23, March 2003.

<sup>246</sup> Radonjanin, Malešev, i Marinković. „Mogućnosti primene starog betona kao nove vrste agregata“, 178-188; Marinković et al., „Recycled aggregate concrete for structural use“, 115-130.

редуковану могућност добијања бетона идентичне боје. Повољнија су решења са интегралном бојом, која се добија додавањем обојеног пигмента бетонској мешавини. Ово решење је повољније од површинског бојења бетона, обзиром на то да се редукује учесталост одржавања.

### Зидане конструкције

Примарни разлози пропадања зиданих конструкција<sup>247</sup> су: хемијски и биолошки напади на малтер или на елементе; растварање малтера у води (трошност, губитак малтера и на крају испадање елемената); корозија уграђених металних компоненти; ерозија елемената или малтера због дејства честица које носе вода и ветар, због дејства мрза, кристализације соли, прекомерне количине кречних укључака; ефекти везани за напрезања услед неравномерног слегања темеља, вибрација, земљотреса, преоптерећења, кретања влаге, термалних ширења и скупљања, раста биљака (могу се јавити прслине у зиду, избочавање зида и испадање елемената за зидање); промена боје због исцветавања, присуства креча, гвожђа, силицијума, ванадијума или биолошког раста; деловања човека. Треба анализирати микроуслове: кишу и снег, комбинацију ветра и кише који могу разграђивати материјал, промену температуре и промену релативне влажности, изложеност квашењу, изложеност циклусима смрзавања и одмрзавања, присуство хемијских једињења, загађиваче ваздуха и за исте обезбедити адекватне материјале и склоп. Како би се осигурала трајност зиданих конструкција потребно их је у што већој мери заштитити од кише, од цикличког смрзавања и одмрзавања, од учинака високе температуре и ниске влажности, од механичких оштећења, као и применити мере за осигурање њихове стабилности. Пре свега анализирају се услови околине, разврстани у пет основних класа изложености (EN 1996-2).<sup>248</sup>

Треба обезбедити прикладност материјала, пре свега елемената за зидање и малтера, као и њихова компатибилна својства за дејства којима су изложени.

---

<sup>247</sup> Зидане конструкције од опекарских и бетонских елемената су у Србији заступљене у чак 80% зграда (индивидуалних стамбених објеката и административно-пословних и стамбених објеката мање спратности) (Stevanović, „Zidane konstrukcije“, 52; Radonjanin i Malešev, „Oštećenja zidanih konstrukcija“, 214-220).

<sup>248</sup> Класе изложености зидане конструкције (EN 1996-2): MX1 – сува средина; MX2 – изложеност влажењу или квашењу; MX3 – изложеност влази и циклусима замрзавања/отапања; MX4 – изложеност ваздуху zasiћеном сољу или морској води; MX5 – агресивн хемијска средина.

Трајност зиданих конструкција је у великој мери одређена њиховом отпорношћу на продор влаге, на коју утичу бројни елементи решења: тип конструктивног склопа склоп и његов облик, укључујући дебљину; врста примењених елемената за зидање и малтера; вода апсорбована у материјалима; малтерске спојнице (повољније су зидане конструкције са мање спојева) и њихов профил; метални профили; присуство, врста и дебљина свих изолација; појединости извођења и локална пракса; квалитет зидања. Најслабија места у конструкцији, када је у питању продор воде, су малтерске спојнице и у том контексту су кључни адекватни детаљи и примена одговарајућег малтера (који може чинити и до 17% површине зида). Малтери морају имати одговарајућа физичко-хемијска својства (чврстоћу, обрадљивост, отпорност на мраз и хемијска дејства) и морају бити компатибилни са елементима за зидање како би се осигурало адекватно везивање. На трајност малтера ће утицати његова класа одређена количином и типом цемента, врстом песка и пропорцијама мешавине. Трајнији су малтери са већом количином цемента, мањим водоцементним фактором и грубљим песком<sup>249</sup> (треба имати у виду да употреба малтера са већим уделом цемента, може водити ка бржем пропадању опекарских елемената). На трајност малтера утиче и врста елемента за зидање, према коефицијенту апсорпције и текстури површине (елементи који упијају воду, смањују водоцементни фактор и тиме повећавају трајност малтера), као и обрада спојница (најповољније су упуштене спојнице). Када је у питању отпорност на продор влаге, треба узети у обзир и учинак облагања зидова (малтерисање и сл.), примењене мере заштите од кише (стрехе и сл.), завршетке зида, венце и одводњавање. Елементи за зидање од бетона обично захтевају додатни слој (малтерисање), уколико су у спољној средини. Елементи за зидање од глине не захтевају додатни слој. Њихово одржавање може временом евентуално укључити поновно фуговање. Поред осигурања отпорности на продор влаге, потребно је обезбедити и отпорност на хемијска дејства (сулфати и хлориди) и дејство мрза, тј. на циклусе замрзавања/одмрзавања. Заштита зиданих конструкција од циклуса смрзавања/одмрзавања, је у ранијим периодима обезбеђивана преко велике термалне масе зидова, односно њихове велике дебљине. Зидови су задржавали топлоту, чиме су се редуковали утицаји ниских температура и могућност

---

<sup>249</sup> *Durability of Masonry Mortar* (Cement Concrete and Aggregates Australia, 2007).

деградације. Данашњи зидови мањих дебљина и зидови од шупљих елемената за зидање, мање термалне масе, морају бити израђивани од материјала са већом отпорношћу на циклусе смрзавања/одмрзавања, односно од материјала са мањом пропустљивошћу, који апсорбују мање влаге. Међутим, на овај начин осигурава се лакши продор воде до унутрашње површине зида, обзиром на то да вода која у зид улази кроз пукотине или друге дефекте, бива принуђена да настави пут кроз зид, уместо да буде апсорбована унутар зида.<sup>250</sup> Наведено, води ка примени посебних мера за спречавање продора влаге (склопови са додатним слојевима).

Како би се избегла појава пукотина и губитак стабилности зиданих конструкција, при пројектовању је потребно имати у виду и померања које се јављају као последица промене влажности и температуре. У том смислу, потребно је обезбедити хоризонталне и вертикалне дилатационе разделнице, који омогућавају ширење и скупљање у зиданим конструкцијама, без пораста напрезања у склопу.

#### Челичне конструкције

Оштећења челичних конструкција су углавном везана за феномен замора материјала и појаву корозије. Код стандардних објеката високоградње проблем замора материјала се може занемарити. Такође, код челичних елемената у склопу зграда, посебно када су у питању елементи у ентеријеру, проблем корозије је сведен на минимум, уколико унутрашња средина није агресивна (услови повећане влажности или хемијског дејства). Ипак, уколико не постоји адекватна заштита, носећи елементи изложени нормалним атмосферским условима могу кородирати по површини. Ова корозија ретко је узрок већих оштећења. Међутим, појава рђе мења визуелна својства челичних елемената, па је за изложене елементе потребно спровести заштиту.

Атмосферски и климатски параметри имају велики утицај на агресивност корозије. Када су у питању атмосферски услови, већи ризик носе средине у којима су присутни загађивачи, као што је сумпор-диоксид, средине велике релативне влажности (посебно топлије средине), као и средине у којима су присутни хлориди или хемијски агенси. У зависности од атмосферских услова степен корозије, односно

---

<sup>250</sup> J.J. Summers, and K. Farahmandpour, „Essential Elements of Durable Exterior Masonry Walls“ (paper presented at the RCI’s Symposium on Building Envelope Technology, New Orleans, November 2004).

губитак метала, варира (BS EN ISO 12944-2). Степен заштите треба да буде прилагођен условима у окружењу.<sup>251</sup>

Фактори који утичу на избор система заштите челика су: очекивани животни век структуре и изводљивост одржавања; дејства којима ће структура бити изложена; облик и величина структуралних елемената; начин уградње и приступачност за третирање након уградње елемената. Мере које треба предузети како би се редуковали утицаји корозије, губитак метала и шансе за преурањену замену челичних компоненти су следеће: примена одговарајуће површинске антикорозивне заштите<sup>252</sup>; примена нерђајућег челика; избегавање контакта између материјала са различитим електро-хемијским потенцијалом; избегавање директног контакта челика и дрвета третираног активним корозионим хемикалијама; димензионисање имајући у виду трошење метала услед корозије; детаљи који спречавају задржавање влаге, воде и прљавштине; детаљи за довољан животни век при замору; димензионисање за ванредна дејства и резерву у носивости; применита премаза, полиуретанске пене у спреју, облагање плочама од изолационог материјала или обавијање слојем бетона адекватног квалитета и дебљине, за заштиту од пожара; осигуравање приступачности, како би се могло спроводити чишћење и одржавање.

### Дрвене конструкције

Уз одговарајући избор, примену и заштиту дрвета, дрвене конструкције могу имати дуг употребни век. Како би се реализовало претходно потребно је пре свега познавати главне узроке пропадања дрвених конструкција: природно старење дрвета, које се тиче комбинованог дејства влаге и изложености сунчевим UV зрацима<sup>253</sup>, током кога се смањује отпорност на абразију и тврдоћа дрвета; биолошка дејства гљивица, инсеката, бактерија; хемијска дејства, међу којима је најизраженије дејство сумпора и азота који у влажној средини прелазе у киселине, које узрокују хидролизу целулозе и одвајање површинских влакана; механичка дејства (између осталог,

---

<sup>251</sup> Corus Construction and Industrial. *The prevention of corrosion on structural steelwork* (Scunthorpe: Corus, 2004).

<sup>252</sup> Постоје два основна типа заштите челичних елемената, бојење заштитним бојама и галванизација. Очекивани век заштите бојењем је од 8-10 година до поновног бојења, док је у случају галванизације приближно 25 година. Галванизовани елементи се могу и бојити, како би им се унапредила визуелна својства, што уједно доприноси већој трајности.

<sup>253</sup> Сунчеви зраци узрокују разградњу лигнина на површини дрвета, након чега га вода испира, а површина дрвета добија ребрасту структуру и сиву боју.

влажност води ка променама у запремини и напрезању дрвета чиме се убрзава његово пропадање); дејство пожара.

Концепт склопа и примењени детаљи треба да буду такви да се конструкција заштити од атмосферских дејстава, дејства воде и влажења елемената, дејстава унутрашње климе и биолошких дејства. Грађевинске, конструктивне, организационе и хемијске мере заштите односе се на: физичку заштиту конструкције од дејства воде и влажења; обликовање конструкције које обезбеђује отицање воде и спречава њен продор у попречне пресеке и спојеве; омогућавање циркулације ваздуха и исушивања свих делова конструкције; ограничавање влажности пуног дрвета како би се редуковали ризици од биолошког напада; спречавање пропадања површине услед влажења и сунчевог зрачења површинским премазима и примена хемијске заштите у агресивним срединама; осигурање доступности елементима конструкције како би се могли вршити контролни прегледи и одржавање, уз могућност једноставне замене дотрајалих компоненти.

Поред наведених мера за осигуравање трајности дрвених конструкција, битан је и правилан избор врсте дрвета, који се односи на следеће карактеристике: природну трајност, мало капиларно упијање воде и димензионалну стабилност. Треба имати у виду да су својства дрвета варијабилна и зависе од великог броја фактора. Примарни фактор, који одређује својства дрвета у конструкцијама, тиче се одабране ботаничке врсте. У Европи се за израду конструкција претежно користе смрека и бор, али у неким областима листопадно дрво, као што су кестен, храст и багрем, може имати боље карактеристике, већу отпорност на влагу и већу чврстоћу. Такође, треба имати у виду и да већу отпорност и трајност има срчевина, која се формира код зрелог дрвета, старости преко 30 година, у односу на бељику младог дрвета. Трајност срчевине зависи од присуства смоле, које има више у нижим деловима стабла. Брзорастуће врсте дрвета, уведене средином прошлог века, су порозније, имају мању трајност и захтевају импрегнацију хемикалијама.

У случају смањене отпорности дрвета или посебних услова употребе, дрвене компоненте треба да буду третиране заштитним средствима: заштита од абиотичких узрока разградње (атмосферилија, бубрења, витоперења, UV зрака, пуцања и распуцавања, хабања, абразије); заштита од биотичких узрока разградње (инсекти, бактерије, гљивице); заштита од пожара (антипирени, противпожарна средства).

Третирање дрвета може негативно утицати на његову чврстоћу, што се мора узети у обзир при пројектовању. Поједине хемикалије које се користе за третирање дрвета убрзавају корозију метала, па је потребно да метална спојна средства буду отпорна на корозију (нерђајући челик и галванизовани челик).

Нови типови конструктивних елемената на бази дрвета, израђени од слојевитих фурнирских плоча или лепљеног иверја, нису у довољној мери испитани када је у питању ризик од дејства влаге, гљивица и бактерија. Такође, мере заштите које треба применити код оваквих система тек се утврђују.<sup>254</sup> Код конструкција овог типа потребно избећи влажење и осигурати могућност исушивања склопа. Повољнији су паропропусни зидни склопови који омогућавају исушивање.<sup>255</sup>

### **Локацијски аспекти**

Локација зграде у извесној мери одређује степен задовољења потреба и очекивања корисника зграде. Мада локацијске карактеристике нису предмет овог истраживања, потребно је указати на основне елементе локације који се тичу социјалних добробити корисника зграде: квалитет спољног ваздуха и утицај ветрова, ниво спољне буке, ниво засенчења и бљеска, температурни услови на локацији, квалитет воде, квалитет земљишта, ниво електромагнетних поља од спољних извора; ниво ефикасности инфраструктуре, приступачност јавним службама, близина услужних делатности, пешачке дистанце, погодност за употребу бицикала, близина јавног превоза; присуство зеленила на локацији или у блиском окружењу; присуство отворених простора намењених социјалној интеграцији у блиском окружењу; суседство; сигурност и безбедност (геолошки, климатски и ризици у вези са људским активностима). Процена квалитета локације је у уској вези са предвиђеном наменом зграде и присуством комплементарних садржаја у блиском окружењу. Такође, потребно проценити и повољност локације са аспекта могућности коришћења природних климатских услова за оптимизовање перформанси зграде које се односе на рационалну потрошњу енергије.<sup>256</sup>

---

<sup>254</sup> Robert Lepage, „Moisture Response of Wall Assemblies of Cross-Laminated Timber Construction in Cold Canadian Climates“, Master Thesis, University of Waterloo, 2012.

<sup>255</sup> Ibid.

<sup>256</sup> М. Ручар, М. Рајевић и М. Јовановић-Поповић, *Биоклиматско планирање и пројектовање – урбанистички параметри* (Београд: Завет, 1994).



### Визуелни аспекти

У постојећим системима за вредновање зграда у контексту одрживости, највећа пажња је посвећена претходно наведеним, претежно квантитативним аспектима квалитета архитектонских простора. Ови аспекти се односе на потребне, али не и довољне услове за остварење основне улоге простора. Потребно је остварити квалитет и у сфери визуелног.

Архитектонски простори могу се схватити као „комуникациони портали“ који визуелно стимулишу кориснике. Ниво и обрасци визуелне стимулације треба да буду у складу са предвиђеном улогом архитектонског простора.

У визуелном смислу, архитектонски простори су за кориснике значајни на три нивоа. Први ниво је површински, презентациони и односи се на сагледавање просторне конфигурације и материјала, под одређеним условима осветљења, односно на сагледавање обликовних и материјалних компоненти простора, као што су тачке (чворови...), линије (штапови...), површине (зидови, плоче...), запремине (при чему се запремина односи и на празан простор дефинисан помоћу тачака, линија и површина), масе,<sup>257</sup> боје и текстуре (материјала), и њихових релација. Релације између феноменалних особина архитектонских простора дефинишу њихову унутрашњу структуру. Ове релације укључују контрасте, варијације, ритам, сличности, привлачење, тензију... Оне чине структуре које се примаоцу прослеђују као динамичне, балансиране, хармоничне....<sup>258</sup> Архитектонски простор постаје слободан и ограђен, отворен и затворен, спољни и унутрашњи, пун и празан, хаотичан и уређен, динамичан и статичан, тежак и лак, покретан и непокретан, осветљен и засенчен, топао и хладан, променљив и трајан, стар и нов, видљив и невидљив. Други ниво је асоцијативни, репрезентациони и односи се на схватање архитектонског простора и његових делова као специфичних ентитета, односно на схватање њихове употребне вредности. Трећи ниво је симболички и тиче се симболичког значења које корисници додељују архитектонским просторима и њиховим деловима.

Критична компонента у процесу визуелног перципирања архитектонског простора је лакоћа са којом корисник може организовати просторне визуелне

---

<sup>257</sup> Bingham and Muchisky, „Center of mass perception and inertial frames of reference“, 617-632.

<sup>258</sup> Goldman, „Aesthetic Qualities and Aesthetic Value“, 23-37.

информације. Читљивост простора може се дефинисати као лакоћа са којом делови могу бити „препознати и организовани у кохерентни образац“.<sup>259</sup> Читљивост простора подразумева могућност брзог сагледавања и схватања распореда просторних елемената, што доприноси лакшем остваривању активности у простору.<sup>260</sup> Визуелним средствима (светлост, облици, материјали, боје, текстуре...) може се поспешити схватање распореда главних елемената простора и њихових веза. Предуслов за схватање распореда елемената простора је њихова лака сагледивост, која преваходно подразумева адекватно осветљење простора.

Светло је есенцијално за сагледавање простора, облика, боја и текстура и схватање распореда просторних елемената. Улога светла у архитектонским просторима везана је три домена: здравље, безбедност и доживљај простора.<sup>261</sup> Како би се остварио светлосни комфор, односно задовољавајуће перформансе осветљења у архитектонским просторима, потребно постићи одговарајућу осветљеност површина, према специфичном(им) визуелним задацима који се одвијају у простору, као и просторну равномерност осветљености. Истовремено је потребно ограничити бљештање, односно јаке луминације или контрасте у видном пољу, који изазивају нелагодност или смањење способности виђења елемената простора. Потребно је максимизовати степен учешћа природног светла, уз истовремену контролу упада директне сунчеве светлости. Осветљење природно или вештачко, поред остварења минималних услова светлосног комфора, у великој мери утиче и на стварање квалитетног амбијента. Оно пружа могућност за исказивање различитих, променљивих вредности простора, могућност истицања или ненаглашавања просторних потцелина, односно успостављања хијерархијских вредности простора. Обликовно и материјално идентични објекат доживеће се различито у различитим условима осветљења (**Слика 21**).

---

<sup>259</sup> Lynch, *The image of the city*, 2-3.

<sup>260</sup> Weisman, „Way-finding and the Built Environment“, 189-204.

<sup>261</sup> Howarth, „Assessment of the visual environment“, 663-692.



**Слика 21.** Заха Хадид, Макси музеј, Рим, 2009., ентеријер при дневном светлу, ентеријер при вештачком осветљењу. [Преузето са <http://blogs.cornell.edu/cornellinrome/2010/04/30/maxxi-by-zaha-hadid/>, 14.3.2011.]

Примењени материјали у оквиру видне конструкције, које одликује одређена структура, боја и текстура, а тиме и одређени степен транспарентности и рефлексије, као и облици конструкције, који одређују могућност и степен слободе формирања отвора, односно конципирања њихове величине, облика и позиције, могу допринети свеукупном квалитету осветљености архитектонског простора, односно нивоу осветљености, распрострањању светла, његовом интензитету и боји.

Пример који илуструје могућност доприноса конструкције, њених материјала и облика, квалитету осветљености архитектонског простора је Кимбел музеј уметности (Форт Ворт, Тексас, 1972.), кога је пројектовао Луис Кан (Слика 22). У оквиру пројектног задатка је захтевано природно осветљење простора музеја. Кан одговара на овај захтев формирајући кров у виду међусобно размакнутих цилиндричних армиранобетонских љуски. Кроз процеп између љуски уводи природно светло у простор музеја преко овешаних, закривљених, перфорираних алуминијумских трака, које спречавају директни упад светлости. Светло се преко трака рефлектује на сиве закривљене бетонске површине, чиме је како Кан констатује остварен “додир сребра”. Како даље напредује ка зидовима од травентина и поду од храста, светло се постепено “загрева”. Наведени пример описује битно својство материјала када је у питању светлост, а то је његова способност да је “боји”, односно “хлади” или “загрева”.



**Слика 22.** Луис Кан, Кимбел музеј, Форт Ворт, Тексас, 1972., ентеријер. [Извор: *Louis Kahn and the Art of Light* (Fort Worth: Kimbell Art Museum, 2003)]

Спољни носећи зид пословне куле О-14, пројектаната Reiser+Umemoto, у Дубаију, конципиран као перфорирана бетонска љуска, поред носеће улоге има улогу заштите од претераног упада сунчевих зрака, истовремено отвореног за светло, ваздух и поглед (**Слика 23**). Позиције отвора у носећем зиду произашле су не само из конструктивних захтева, већ из захтева за одговарајућим погледом ка споља, захтева за одговарајућом изложеношћу сунцу и захтева за одговарајућим нивоом осветљења. Комбинацијом спољне перфориране бетонске љуске и унутрашње стаклене фасаде, односно применом пасивних техника, поред остварења адекватних услова за реализацију предвиђених активности корисника, остварена је редукација потрошње електричне енергије од 30%, што је оправдано и са аспекта заштите животне средине и економског аспекта.<sup>262</sup>

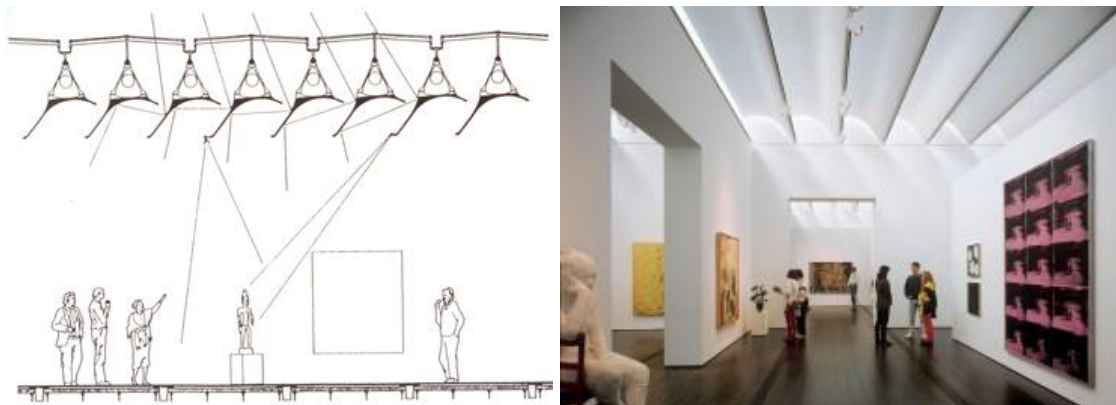
---

<sup>262</sup> Reiser, Umemoto, & Ocampo, „Case Study: O-14 Folded Exoskeleton“, 18.



**Слика 23.** Рајсер+Умемото, О-14, Дубаи, Уједињени Арапски Емирати, 2010., изградња, носећи фасадни зид, фасада. [Преузето са <http://www.morfae.com/0795-reiser-umemoto/> и <http://www.archdaily.com/22200/in-progress-0-14-tower-by-reiser-umemoto/>, 19.3.2011.]

Ренцо Пиано одговарајући на питање “Шта одрживост у архитектури значи за вас?” констатује: “Квалитет зграде у великој мери зависи од доброг осветљења... Ово је посебно очигледно у музејима. Мислим, на пример, на Менил у Хјустону”.<sup>263</sup> У оквиру пројекта за Менил колекцију, грађевински инжењер Питер Рајс и архитекта Ренцо Пиано употребили су фероцемент у комбинацији са ливеним гвожђем како би материјализовали елементе конструкције помоћу којих се контролише степен упада дневне светлости у простор музеја, односно креира одговарајуће осветљење унутрашњег простора (Слика 24).



**Слика 24.** Стратегија осветљења илустрована кроз попречни пресек; зграда музеја Менил, Хјустон, Тексас, 1987., архитекта Ренцо Пиано. [Извор: С. Abel, *Architecture, Technology and Process* (Routledge, 2004), 74]

**Слика 25.** Ренцо Пиано., Музеј Менил, Хјустон, Тексас, 1987., ентеријер. [Преузето са [http://morandonaamerica.com/?attachment\\_id=17085](http://morandonaamerica.com/?attachment_id=17085), 4.4.2011.]

<sup>263</sup> Renzo Piano, „Renzo Piano: Closer to Nature“, 9.

Концепт конструкције, облик и примењени материјали, произашао је из два примарна циља: надсвођавања простора и адекватног осветљења простора за пројектовану намену. Облик и међусобни размак носећих елемената конципирани су тако да се постигне оптимално осветљење унутрашњег простора музеја. Примењени композитни материјал, фероцемент, од кога су израђене закривљене површи, са својом меканом, зрнастом структуром, омогућио је истовремено рефлектовање и једнако распрострањавање природне светлости. Жељени ефекти рефлексије и исијавања добијени су применом малтерске смеше у коју је додат мермерни песак и бели цемент. Начин на који су просторни елементи организовани и материјализовани утиче на искуство корисника у простору музеја, при чему је искуство посматрања уметности уздигнуто јединственим начином на који зграда хвата и манипулише светлом (Слика 25).

Кевин Линч истиче пет елемената простора који могу поспешити идентификовање и организовање просторних информација, односно креирање менталних представа: зоне (зоне простора са специфичним идентитетом или карактером, које се издвајају као појединачни ентитети), ивице (границе, зидови, ограде..), путање (комуникационе путање, правци пружања просторних елемената), чворишта (фокалне тачке, жижке, укрштања...) и оријентири (елементи простора као референтне тачке, стубови...).<sup>264</sup> Просторна организација видних елемената конструкције може допринети читљивости простора, односно олакшати процес идентификовања и организовања просторних информација. У оквиру музеја Макси у Риму, кога је пројектовала Заха Хадид, елементи конструкције, танки сиви континуални носачи, постају „путање“ које доприносе лакшем сналажењу корисника, односно бржем доношењу одлука у вези са кретањем у простору (Слика 26). “Савремени урбани живот постаје све комплекснији... У данашње време је задатак уредити и артикулисати ову комплексност на начине који обезбеђују читљивост и оријентацију”.<sup>265</sup>

---

<sup>264</sup> Kevin Lynch, *The image of the city* (Cambridge: MIT Press, 1960).

<sup>265</sup> Hadid, „Zaha Hadid Challenges materials“, 14.



Слика 26. Заха Хадид, Макси музеј, Рим, 2009., ентеријер. [Преузето са <http://indulgy.com/post/SP7vm2fZ61/zaha-hadid-maxxi-museum-of-xxi-century-arts>, 25.5.2011.]

Архитектонски простори могу бити мање или више комплексни визуелни стимулуси. Претерана комплексност архитектонског простора може имати за последицу отежану организацију и интерпретацију просторних визуелних информација, чиме се подстиче осећање несигурности код корисника.<sup>266</sup> Ипак, одређени ниво визуелне комплексности архитектонског простора је пожељан, докле год се корисник осећа сигурно. Комплексност сцене, чији саставни део чини видна конструкција (Слика 27), тиче се броја елемената, њихове хетерогености по облику и материјалу, тј. боји и текстури, ирегуларности облика елемената, начина на који су елементи организовани, односно ирегуларности њихове диспозиције и степена до кога се различити елементи могу доживети као целина.<sup>267</sup>

---

<sup>266</sup> S. Kaplan and R. Kaplan, *Cognition and environment: Functioning in an uncertain world* (New York: Praeger, 1982); P. Bell et al., *Environmental Psychology* (Psychology Press, 2005).

<sup>267</sup> Berlyne, „Complexity and incongruity variables as determinants of exploratory choice and evaluative ratings“, 274-290; Berlyne, „Novelty, complexity, and hedonic value“, 279-286; Berlyne, Ogilvie, and Parham, „The dimensionality of visual complexity, interestingness, and pleasingness“, 376-387.



Слика 27. Тојо Ито, „Serpentine Pavillion“, Лондон, 2002., фасада. [Преузето са [http://www.allposters.com.br/-sp/Serpentine-Gallery-Pavilion-2002-Kensington-Gardens-London-Architect-Toyo-Ito-with-Arup-posters\\_i7180251\\_.htm](http://www.allposters.com.br/-sp/Serpentine-Gallery-Pavilion-2002-Kensington-Gardens-London-Architect-Toyo-Ito-with-Arup-posters_i7180251_.htm), 3.6.2011.]

Комплексност је у директној вези са побуђујућим квалитетима простора и односи на капацитет сцене да окупира и задржи пажњу појединца.<sup>268</sup> Човек има потребу да открива једноставно у комплексном, односно ред у хаосу (хаос се у контексту архитектонског простора може посматрати као подскуп комплексности). Превођење комплексног у једноставно, односно хаотичног у уређено је део естетског искуства. Комплексност без реда производи конфузију, док ред без комплексности производи досаду.<sup>269</sup> Заправо ред и комплексност заједно доприносе доживљају лепог.<sup>270</sup>

„Комплексни ред захтева комплексни извор“.<sup>271</sup> Он захтева креатора. „Свака ствар треба да има извор и свака зграда градитеља“.<sup>272</sup> Комплексни ред је резултат вољног дизајна. Он је ефекат креативне силе која се јавља у природи, односно исход закона Природе по коме су кретање без мотивационе силе и ефекат без узрока немогући. Комплексни ред је условљен специфичним контекстом, изван кога постаје бесмислен.<sup>273</sup> Како би се искусио комплексни ред архитектонских простора, делови

---

<sup>268</sup> S. Kaplan and R. Kaplan, *Cognition and environment: Functioning in an uncertain world* (New York: Praeger, 1982); Kaplan, „Aesthetics, Affect, and Cognition: Environmental Preference from an Evolutionary Perspective“, 3-32.

<sup>269</sup> Rudolf Arnheim, *Toward a Psychology of Art: Collected Essays* (University of California Press, 1972).

<sup>270</sup> Eysenck, „The experimental study of the ‘Good Gestalt‘“, 344-363.

<sup>271</sup> Kitzing, „Origin of Complex Order“, 180.

<sup>272</sup> Bahá'u'lláh, *Tablets of Bahá'u'lláh*. Quoted in Kitzing, „Origin of Complex Order“, 173.

<sup>273</sup> Kitzing, „Origin of Complex Order“, 171-180.



треба да буду виђени у смислу њихове улоге у оквиру веће интегралне целине. „Као што сваки распоред и формацију која није перфектна у свом реду ми одређујемо као случајну, тако ону која је уређена, правилна, савршена у својим релацијама, и чији је сваки део на одговарајућем месту и који је есенцијална потреба других конститутивних делова, зовемо композицијом формираном кроз вољу и знање“.<sup>274</sup> Реч је о емотивној и интуитивној фузији различитих елемената простора, без које би делови били само механички повезани. То је позадински план који квалификује све у предњем плану. Према Маку, Боеције такође указује на то да су пропорције, односно релације, у основи сваке појаве, било духовне било материјалне. “Свако препознавање хармонијских односа, слично препознавању других феномена, узроковано је познавањем правила која произилазе из највишег духовног принципа, оних правила која су препознатљива као законитости природе”.<sup>275</sup> Ружица Божовић-Стаменовић дефинише хармонију у простору као „меру сагласја и непостојања дисонантности у односима елемената и простора као целине“,<sup>276</sup> а само естетско искуство као доживљај хармоније. „Човек читава просторне хармоније чак и када су на великом нивоу комплексности. Та способност или интуитивна хармонијска сензибилност се може надградити искуством и учењем“.<sup>277</sup>

Очитавање просторних хармонија је динамичан процес, условљен кретањем и делањем корисника у простору. Кретање и делање у простору је везано за временски интервал (појам спатиум, који се данас везује за простор, изворно је значао временски интервал између два догађаја). Мако износи Фумихико Макијево схватање планова перцепције, као планова организованих кроз временску сукцесију и везаних за субјективност корисника.<sup>278</sup> Присутан је „динамизам у опажању и осећајној реакцији на архитектонски простор“.<sup>279</sup> „Узастопни низ естетских доживљаја ређају се један за другим током кретања и делања у простору“.<sup>280</sup> Простори конципирани тако да, упркос разноликости по сегментима, имају јединствени амбијентални израз, доживљавају се спонтано и лако. У том смислу,

---

<sup>274</sup> „Abdu'l-Bahá Letter to Forel“. Quoted in Kitzing, „Origin of Complex Order“, 175.

<sup>275</sup> Мако, *Естетичке мисли о архитектури: средњи век*, 33.

<sup>276</sup> Воžović-Stamenović, 74.

<sup>277</sup> Ibid.

<sup>278</sup> Мако, *Естетика - Архитектура, књига 1*, 67.

<sup>279</sup> Ibid., 66.

<sup>280</sup> Воžović-Stamenović, 73.

хармонија следа утисака, односно целовитост укупног доживљаја простора, битан је естетски квалитет простора. Недостатак целовитог утиска о простору води отуђењу од самог простора.

Целовитост утиска условљена је просторном кохереношћу. Кохерентност појачава утисак да је сналажење у простору могуће.<sup>281</sup> Концепт кохерентности везан је за стабилност и предвидљивост, односно фазност. Нагле промене или узнемирења могу повећати ниво стимулације, али и изазвати стрес, јер чине предвиђање отежаним. Кохерентност простора постиже се конзистентношћу на апстрактном нивоу: интензитета, разноликости и учесталости визуелних доживљаја.<sup>282</sup> Вишеструке, понављајуће одлике, основни израз правила и тематског континуитета, доприносе кохеренцији.<sup>283</sup>

У оквиру пројекта музеја Макси у Риму, упркос разноликости по сегментима, Заха Хадид остварује јединствен амбијентални израз и целовитост укупног доживљаја простора музеја (**Слика 28**). Бели зидови, зидови у натур бетону, сиви кровни носачи, црна степеништа и рампе, преплићу се и повезују са циљем да се креира комплексан, динамичан и флуидан простор, односно „нова флуидна просторност многоструких перспективних тачака и фрагментисане геометрије, пројектованих да отелотворе хаотичну флуидност модерног живота“.<sup>284</sup> Како би реализовала „флуидну просторност“ Заха Хадид примењује бетон за који каже: „Ја веома волим бетон зато што је он врло флуидан и континуалан материјал“.<sup>285</sup>

---

<sup>281</sup> McMullen, „User Preferences in an Interior Multiuse Space“.

<sup>282</sup> Božović-Stamenović, 74.

<sup>283</sup> Kevin Lynch, *The image of the city* (Cambridge: MIT Press, 1960); S. Kaplan and R. Kaplan, *Cognition and environment: Functioning in an uncertain world* (New York: Praeger, 1982).

<sup>284</sup> „Zaha brings fluid geometry to Rome Rome“, *C3 304: Sustainable and Architectonic*, 2009, 25.

<sup>285</sup> Hadid, „Zaha Hadid Challenges materials“, 14.

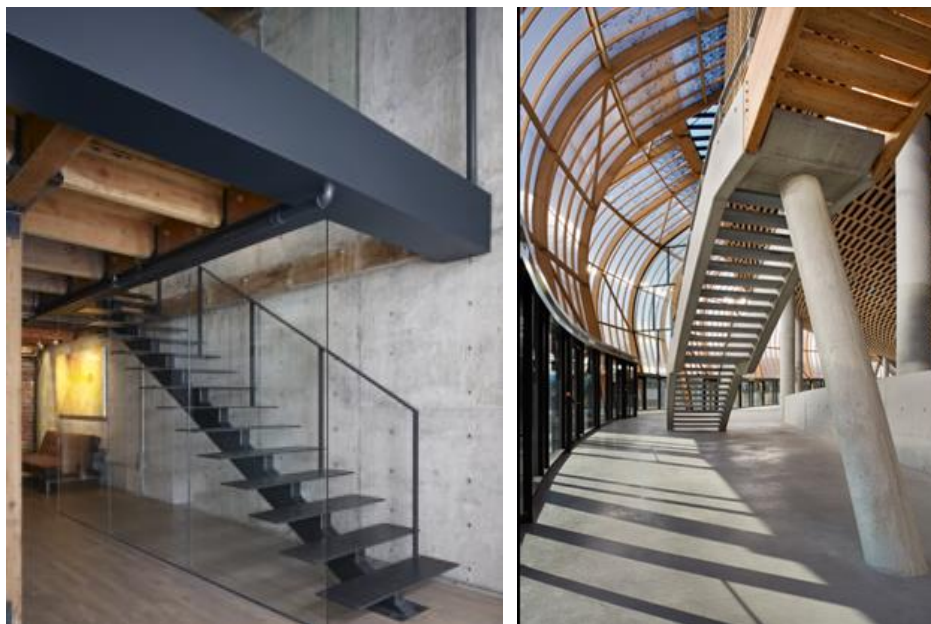


Слика 28. Заха Хадид, Макси музеј, Рим, 2009., ентеријер. [Преузето са <http://www.architectural.com/zaha-hadid-architects-maxxi-national-museum-of-xxi-arts/maxxi-rome-zha-8450/>, 14.6.2011.; <http://www.ecomanta.com/2009/11/zaha-hadid-and-maxxi-conquer-rome.html>, 14.6.2011.; <http://meng-design200.blogspot.com/2011/01/a02.html>, 14.6.2011.]

Примењени материјали у оквиру видне конструкције, својом бојим и текстуром, утичу на доживљај простора (Слика 29). Преференце или одбојност према извесним материјалима заснивају се на личним афинитетима и културном одређењу. Ипак, „мекши“ материјали, који обећавају топлину додиром и пријатну сензацију, се доживљавају као пријатнији од „тврђих“. Дрво као „меки“ материјал оцењује се као „домаћи“, „топао“, „релаксирајући“ и „позивајући“. „Тврди“ материјали, челик и бетон, оцењују се као „стерилни“, „хладни“, „непривлачни“ и „бучни“.<sup>286</sup> Ипак, материјали „сами по себи“ не садрже себи својствене „естетичке особине“, „...они пријањају за идеје“.<sup>287</sup> На доживљај простора ће утицати међусобни односи свих примењених материјала у простору, односно њихове релације или идејне везе.

<sup>286</sup> Kimberly Rutkin, „User Preference Of Interior Design Elements In Hotel Lobby Spaces“, Master Thesis, University of Florida, 2005.

<sup>287</sup> Marciano, „Rémy Marciano builds tomorrow’s memories“, 32.



**Слика 29.** Складиште трансформисано у стамбени простор, Сан Франциско, 2010., архитектонско решење Едмондс + Ли Архитекти. [Преузето са <http://www.chictip.com/dream-homes/dream-home-oriental-warehouse-loft-by-edmonds-lee-architects>, 2.7.2011.]

**Слика 30.** Бернард Чуми, Концертна хала, Лимож, Француска, 2007. [Преузето са <http://abduzeedo.com/architect-day-bernard-tschumi>, 5.7.2011.]

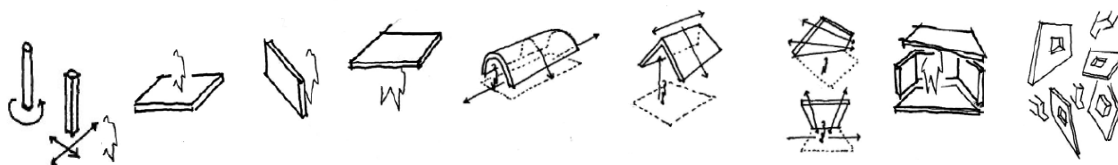
Истраживања преференци корисника у вези са примењеним материјалима у архитектонским просторима, показују да корисници преферирају контрастне комбинације материјала, боја и текстура. Истраживање о утицају боја у пословним просторима на продуктивност запослених, указује на то да ефекти контраста енергизују и повећавају радну продуктивност.<sup>288</sup> Истраживање предности примене дрвета у просторима лечења, показало је да, без обзира на то што је дрво оцењено као „топао“ материјал, корисници мање позитивно реагују на просторе у којима су сви елементи материјализовани у дрвету. Простори у којима су изостале контрастне комбинације, боја и текстура, оцењени су као обични и досадни.<sup>289</sup> Ефектима контраста боја и текстура поспешује се читљивост простора, истичу се поједини сегменти простора и просторна хијерархија, односно креира доживљај простора и његових елемената.

Како би се подстакло успостављање позитивно интонираних релација простора и корисника, архитектонски простори и њихови делови морају бити

<sup>288</sup> Kamaruzzaman, „Influence of Employees’ Perceptions of Colour Preferences on Productivity in Malaysian Office Buildings“, 283-293.

<sup>289</sup> A. Nyrud and T. Bringslimark, „Health benefits from wood interiors in hospitals“ (paper presented at the Forest Products Society 65th International Convention, Norsk Treteknisk Institutt, 2011).

схваћени као специфични ентитети, јасни у смислу њихове употребне вредности. Схватање употребне вредности простора и његових делова, делује стимулативно на кориснике, односно поспешује одвијање основне функције којој је простор намењен.<sup>290</sup> У процесу артикулације просторних елемената, које чине и елементи видне конструкције, треба имати у виду да суд о простору зависи од мере поклапања визуелног стимуланса са идеализованом сликом посматрача,<sup>291</sup> односно од усвојене менталне репрезентације за одређену намену простора или његовог дела, развијене у одређеном културалном контексту (Слика 31). У том смислу, потребно је визуелним средствима успоставити асоцијативни оквир у складу са наменом простора, односно проследити јасну и јединствену поруку о употребној вредности простора и његових делова, имајући у виду културолошки условљена очекивања корисника. „У свесном компоновању простора и његових...асоцијативних вредности треба почети од претпоставке постојећег искуства средине у којој се ствара, а тек потом приступити стварању нове асоцијације“.<sup>292</sup> Уколико је асоцијативни оквир неодговарајући или уколико су просторне информације нејасне, двосмислене или конфликтне, реакција корисника може бити одбојност, фрустрација и беспомоћност,<sup>293</sup> што се негативно одражава на квалитет предвиђене активности.



Слика 31. Градивни елементи архитектонског простора. [Преузето са [http://www.arh.bg.ac.rs/upload/0809/Osnovne\\_akademske\\_studije/Semestar\\_02/Elementi\\_projektovanja/gradivni\\_elmenti\\_prostora.pdf](http://www.arh.bg.ac.rs/upload/0809/Osnovne_akademske_studije/Semestar_02/Elementi_projektovanja/gradivni_elmenti_prostora.pdf), 13.8.2011.]

Схватање употребне вредности зграде и њених елемената, које се примарно односи на читавање степена сигурности и безбедности, односно процену чврстоће, крутости и стабилности склопа и појединачних елемената, могуће је кроз директну визуелну опсервацију, уколико је конструкција видна или кроз индиректно сагледавање, уколико је конструкција сакривена. Читавање структуралне логике, односно путева сила гравитације, неопходно је како би се избегла когнитивна

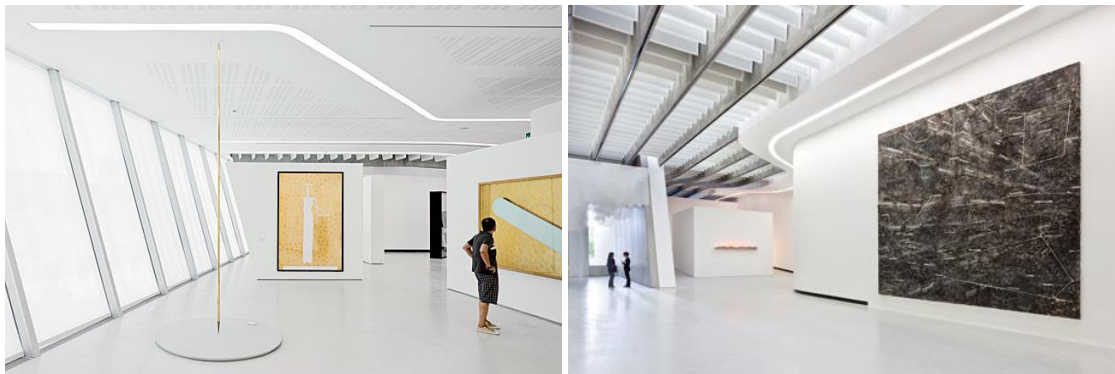
<sup>290</sup> Božović-Stamenović, 57.

<sup>291</sup> Hagerhall, „Consensus in landscape preference judgements“, 83–92.

<sup>292</sup> Božović-Stamenović, 72.

<sup>293</sup> Norman Don, *The Psychology of Everyday Things* (Basic Books, 1988).

дисонанца. Процес читавања се поједностављује уколико је конструкција видна (Слика 32). „Зграда ће изгледати страна, ако не пружи својим корисницима директни и интуитивни осећај о њеној конструкцији – о томе како је склопљена. Зграде код којих је конструкција сакривена остављају још један јаз у људском разумевању окружења“.<sup>294</sup>



Слика 32. Заха Хадид, Макси музеј, Рим, 2009., ентеријер. [Преузето са <http://redchalksketch.wordpress.com/2010/10/17/maxxinational-museum-of-xxi-century-arts-by-zaha-hadid-architects/>, 24.9 2011.; <http://www.bdonline.co.uk/news/zaha-hadid-maxxi-museum-opens-in-rome/5000440.article>, 24.9 2011.]

Очитавање чврстоће, крутости и стабилности зграда и њихових елемената, односно читавање структуралне логике, односи се на примарну урођену способност предвиђања физичког понашања објеката из окружења,<sup>295</sup> односно на интуитивну способност читања зграда као структуралних објеката. Визуелна процена стабилности објекта је еколошки значајан суд који омогућава посматрачу да предвиди физичко понашање објекта<sup>296</sup> и у складу са овим предвиђањем планира моторне акције. Конструктивни склоп може бити конципиран тако да омогућава једноставно читавање структуралне логике, али може бити конципиран тако да је овај процес у великој мери успорен или онемогућен (Слика 33).

---

<sup>294</sup> Alexander, Ishikawa and Silverstein, *A Pattern Language*, pattern 205.

<sup>295</sup> Fleming and Singh, „Three dimensional shape and the perception of physical stability“, 47.

<sup>296</sup> Cholewiak, Fleming, and Singh, „Perception of the physical stability of asymmetrical three-dimensional objects“, 1-12; Cholewiak, Fleming, and Singh, „Perceived stability and center of mass of 3D objects“, 101.



**Слика 33.** Студио Даниел Либескинд, „Bord Gáis Energy Theatre“, Даблин, Ирска, 2011., фасада.  
[Преузето са [http://grandcanalhotel.blogspot.com/2010\\_05\\_01\\_archive.html](http://grandcanalhotel.blogspot.com/2010_05_01_archive.html), 15.10.2011.]

Немогућност интуитивног предвиђања физичког понашања објеката или интуитивна процена неадекватног физичког понашања, прерастају у осећај нелагодности у простору. Губи се осећај емоционалне сигурности у окружењу, односно нестаје осећај сигурности и безбедности који је неопходан како би наступио процес „становања“.<sup>297</sup>

У процесу интуитивног предвиђања физичког понашања објеката сагледавају се и примењени материјали, њихова физичке особине и хемијска својства,<sup>298</sup> односно физичко-хемијска димензија простора и његових елемената, која се временом мења (Слика 34). Примарно се процењује степен чврстоће материјала и у складу са тим степен носивости елемената и склопа.<sup>299</sup>



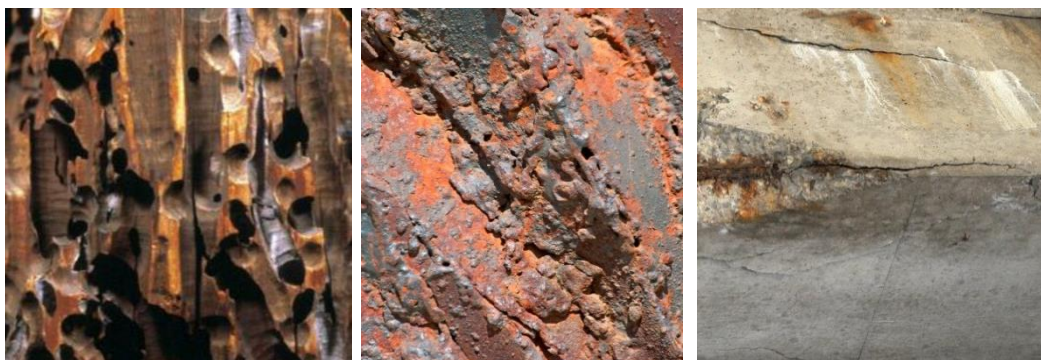
**Слика 34.** Сагледавање физичко хемијске димензије простора.

297 Heidegger, *Poetry, Language, Thought*, 149.

298 Adelson, „On Seeing Stuff: The Perception of Materials by Humans“, 1-12; Nyrod, Bysheim, and Bringslimark, „What are the users' perception of naturalness?“, 102-106.

299 Zuo et al., „An investigation into the sensory properties of materials“, 500-507.

Материјали временом мењају своја физичко-хемијска својства и изглед (Слика 35, Слика 36 и Слика 37).

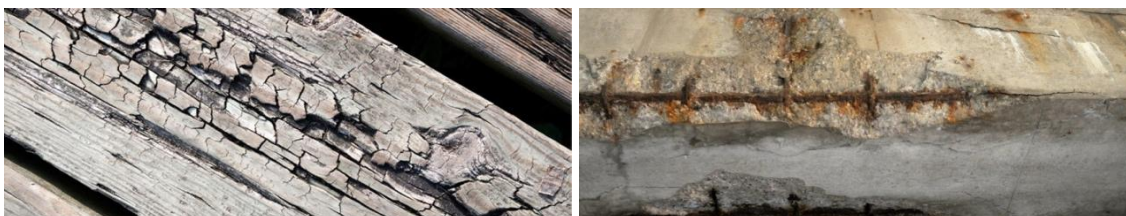


**Слика 35.** Изглед дрвета након процеса пропадања. [Преузето са <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296207412000659>, 20.10.2011.]

**Слика 36.** Изглед челика након процеса пропадања. [Преузето са <http://www.european-coatings.com/layout/set/print/Raw-Materials-Technologies/Applications/Protective-Marine/Protect-carbon-steel-with-siloxane-sol-films>, 24.10.2011.]

**Слика 37.** Изглед бетона након процеса пропадања. [Преузето са <http://www.matcoinc.com/home/whats-new/193-discovery-channel-at-matco-de-icing-salts-corrosion-and-infrastructure>, 27.10.2011.]

Дрво мења боју и структуру (Слика 35). На површини се јављају гљивице. На површини челика се јавља рђа, тачкаста, пукотинска, општа или распуцавање (Слика 36). На опеци се јављају беличасте соли, лишајеви (Слика 34). Мрве се површине. На површини бетона јављају се смеђе мрље од корозије или беле мрље од кристализације (Слика 37). Одлама се површински слој. Визуелни доживљај архитектонских простора се мења. У том смислу, процес конципирања видне конструкције, као и мера њене заштите, треба да се заснива и на разматрању процеса деградације материјала и промени њихових визуелних својстава током времена, посебно имајући у виду да патина времена која тако добро пристаје традиционалним материјалима, за нове је тако погубна (Слика 38 и Слика 39).



**Слика 38.** Старење дрвета. [Преузето са [http://www.stonepropertieservices.co.uk/dpc\\_timber.html](http://www.stonepropertieservices.co.uk/dpc_timber.html), 4.11.2011.]

**Слика 39.** Старење бетона. [Преузето са <http://www.matcoinc.com/home/whats-new/193-discovery-channel-at-matco-de-icing-salts-corrosion-and-infrastructure>, 5.11.2011.]



Када је у питању успостављање асоцијативног оквира у складу са наменом простора, треба имати у виду постојеће искуство средине у којој се ствара у вези са различитим материјалима. Рецимо, натур бетон у својој „природној“ боји (“не-боји”) повезује са масовном применом код појединих намена зграда као што су индустријска постројења, хангари, силоси, бране, саобраћајна инфраструктура и сл.<sup>300</sup> Натур бетон се, на европском тлу, повезује и са масовном стамбеном изградњом у периоду после Другог светског рата, која се заснивала на „стандардним конструктивним елементима, произведеним у хиљаде и хиљаде комада“,<sup>301</sup> али и са објектима културе из овог периода. Његова масовна примена, у оквиру објеката различитих намена, учинила га је „неутралним” материјалом, погодним за компоновање простора различитих асоцијативних вредности (Слика 40 и Слика 41). У оквиру пројекта ревитализације комплекса Куле Небојша, који је имао за циљ укључење споменичког наслеђа у савремене животне токове, преко остварења функције градског изложбеног простора, архитекте Дејан Миљковић и Јован Митровић и графичар Бранко Павић примењују натур бетон (Слика 40).<sup>302</sup> "Наша идеја је била да бетон, као најнеутралнији материјал, искористимо за ентеријер и уопште за санирање овог објекта...управо због тога да не би конкурисали зидовима који су аутентични...и на неки начин конзервирани у духу онога што је овде раније било“.<sup>303</sup>

---

<sup>300</sup> I. Benz and R. Rambow, „Architects’ and Non-Architects’ Perception of Exposed Concrete as a Building Material“ (poster presented at the XXIX International Congress of Psychology, ICC, Berlin, 2008).

<sup>301</sup> Bogdanović- Protić, „Stambeni kompleksi sa višespratnim zgradama - problemski okvir“, 6.

<sup>302</sup> Аутор конструктивног решења формирања новог корисног простора у бреду Куле Небојша у Београдској тврђави је др Милан Глишић, дипломирани инжењер архитектуре, редовни професор Архитектонског факултета Универзитета у Београду.

<sup>303</sup> Miljković, Dejan. Citiran u Borislav Vukićević, „O nagrađenom projektu rekonstrukcije beogradske Kule Nebojša“, *Vijesti*, 4. april, 2012. Accessed January 20, 2013. <http://www.vijesti.me/kultura/o-nagrađenom-projektu-rekonstrukcije-beogradske-kule-nebojsa-clanak-69263>



Слика 40. Дејан Миљковић, Јован Митровић и Бранко Павић, Анекс Куле Небојша, Београд, ентеријер улазног хола. [Преузето са <http://www.novosti.rs/vesti/kultura.71.html:372395-Novosti-predstavljaju-najbolje-arhitektonske-radove>, 4.12.2012.]

Слика 41. Подземни пролаз.

Осећања корисника у вези са архитектонским просторима тичу се и симболичких значења које им корисници могу доделити.<sup>304</sup> Ова значења развијају се у контексту личног искуства у вези са архитектонским просторима.<sup>305</sup> Симболичка значења која се додељују архитектонским просторима део су културалног и персоналног симболичког система и утичу на вредновање простора. Архитектонски простори постају симболичке форме којима се комуницирају ставови о животу и које изражавају поглед на свет, вредносну оријентацију, етос.<sup>306</sup> “Архитектонска представа...значањски се не завршава на датомј представи. Она трансцендира визуелни просторни исказ нудећи дубља осећања и спознаје везане за човека и његово место у универзуму, што је по својој суштини симболички исказ”.<sup>307</sup> Тања Глушац, у раду под називом „Колико су ови зидови видели: улога архитектуре, места и сећања у реконструисању осећаја сопства у новом изграђеном окружењу“, такође указује на значај симболичких аспеката архитектонских простора, питајући се „да ли зидови могу икада бити само хладни и безживотни асемблажи цигли или камена које заједно држи малтер, а не нешто друго, нешто значајније и вредније, нешто што интимније дефинише ко смо и ком делу света припадамо“.<sup>308</sup>

„Материјали имају историју, која нам помаже да доделимо значење“.<sup>309</sup> Током Другог светског рата у Европи и на нашим просторима људи су привремено

<sup>304</sup> Williams et al. „Examining emotional and symbolic attachment to place“, 29-46.

<sup>305</sup> Hershberger, „Architecture and Meaning“, 37-55.

<sup>306</sup> Ortner, „Theory in anthropology since the Sixties“, 372-411.

<sup>307</sup> Mako, *Estetika – Arhitektura, knjiga 1*, 19.

<sup>308</sup> Glusac, „How much these walls have seen“, 2.

<sup>309</sup> Karana, „How do materials obtain their meanings?“, 274.

„смештани у низовима дрвених барака“.<sup>310</sup> Након Другог светског рата, велики број бескућника је привремено смештан у низовима дрвених барака. Лаки и јефтине производи на бази дрвета прате већу мобилност савременог човека, убрзане промене у начину живота људи. Индустријски сектор минимизује производну цену и количину дрвета која се уграђује у све мање стабилне и трајне производе. „Лаки“ концепти комуницирају ставове о „променљивости“ и „пролазности“. Ипак, истраживање ставова корисника<sup>311</sup> указује на то да корисничке преференце нису на страни лаких елемената, већ су на страни „постојаности“. Међутим, „постојаност“ се може даље „бојити“ различитим осећањима. Архитекта Руди Рицоти констатује „Бетон може бити сублиман. Он такође може инспирисати страх“.<sup>312</sup> У филму „Приче бетона“ (Concrete Stories), Лоренса Финдисана, људи говоре о свом животу у зградама од префабрикованих армиранобетонских плоча. Приче корисника о „индустријском становању“ дочаравају европску причу о стандардизацији која је „владала“ животима читавих генерација, у времену сударајућих идеологија Истока и Запада.

Препознавање социо-културолошких слојева у друштву у коме ствара, било је значајно за уругвајског инжењера и архитекту, Еладиа Диеста, који је нови израз армираних глинених елемента (**Слика 42**), понудио „дубља осећања и спознаје везане за човека и његово место у универзуму, што је по својој суштини симболички исказ“.<sup>313</sup> Концепти произашли из еколошког приступа, који укључује и разматрање социјалних импликација грађења, поред тога што су једноставни, чврсти и економични за градњу, су и социјално одговорни. „Ствари које градимо морају имати нешто што би могли звати космичка економија...оне треба да буду у складу са дубоким редом света“.<sup>314</sup>

---

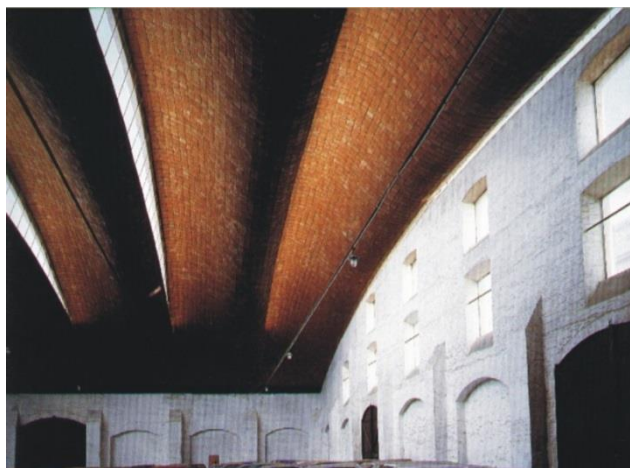
<sup>310</sup> Bajford, *Staro sajmište - Mesto sećanja, zaborava i sporenja*, 31.

<sup>311</sup> *Assessment of user requirements and technical feasibility of lightweight applications based on renewables*(Project report). Accessed January 19, 2012. <http://www.fabrikderzukunft.at/results.html/id5213>

<sup>312</sup> Ricciotti, „Rudy Ricciotti’s material dreams“, 29.

<sup>313</sup> Mako, *Estetika – Arhitektura, knjiga 1*, 19.

<sup>314</sup> Eladio Dieste, *Architecture and construction*. Quoted in Stanford, *Eladio Dieste: Innovation in Structural Art*, 39.



Слика 42. Еладио Диесте, Складиште, Монтевидео, Уругвај, 1979., ентеријер. [Преузето са <http://www.mtop.gub.uy/salasiaez/dieste/puerto1.jpg>, 18.11.2011.]

Процењује се ниво до кога су визуелни аспекти простора, површински-презентациони, асоцијативни-репрезентациони и симболички, у складу са потребама и очекивањима корисника, односно степен усклађености нивоа и образаца визуелне стимулације са предвиђеном улогом архитектонског простора.

### **Оцена од стране корисника**

Када је у питању вредновање аспекта квалитета архитектонског простора, посебно треба имати у виду разлике у перцепцији и евалуацији изграђеног окружења од стране пројектаната и корисника.<sup>315</sup> Пројектантски поглед тиче се стручне процене достигнућа, док се поглед корисника односи на активно континуирано вредновање архитектонског простора током његове употребе.<sup>316</sup> Архитекте више воле необичне форме, док лаици више воле типичне.<sup>317</sup> Постоји разлика и у доживљају материјала између архитеката и лаика.<sup>318</sup> Када је у питању натур бетон, архитекте истичу концепте као што су „аутентичност“ и „искреност“ материјала, док лаици повезују овај материјал са масовном применом код појединих намена зграда (индустријска

<sup>315</sup> Riklef Rambow, *Experten-Laien-Kommunikation in der Architektur* (Waxmann, 2000).

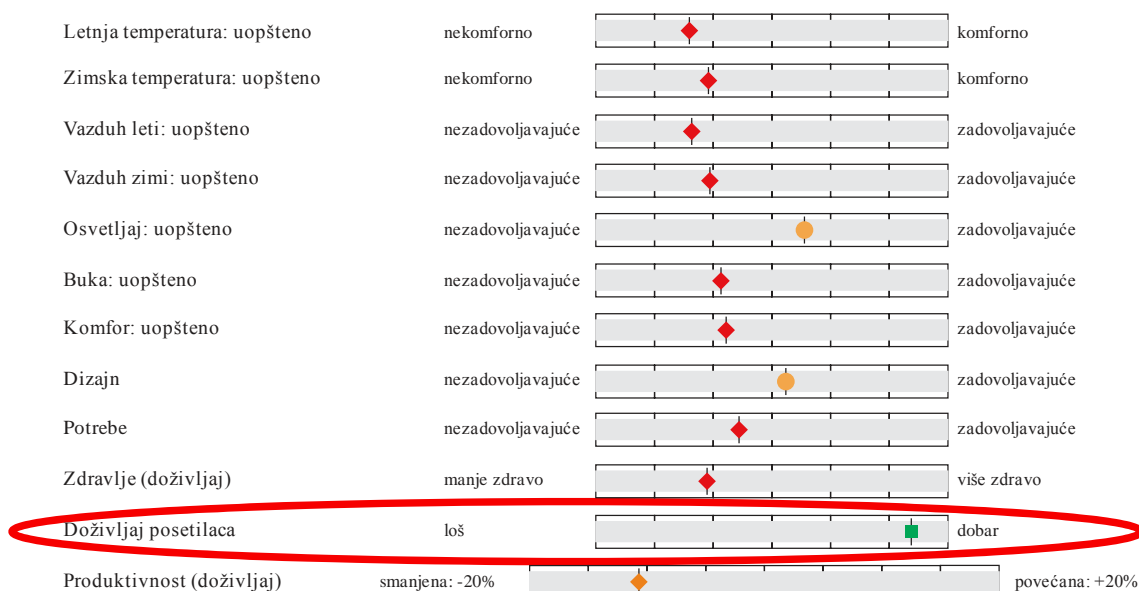
<sup>316</sup> S. Kaplan and R. Kaplan, *Cognition and environment: Functioning in an uncertain world* (New York: Praeger, 1982).

<sup>317</sup> Devlin and Nasar, „Comparisons of “high” versus “popular” residential architecture and public versus architect judgments of the same“, 333-344; Gifford et al., „Why architects and laypersons judge buildings differently“, 131-148; Gifford et al., „Understanding the aesthetic differences of architects and laypersons“, 163-187.

<sup>318</sup> Sadalla and Sheets, „Symbolism in building materials: Self-presentational and cognitive components“, 155-180; R. Rambow and I. Benz, „Materiality in Architecture: Effects of Expertise on Perception and Evaluation“, In *Urban Diversities, Biosphere and Well-being: Designing and Managing Our Common Environment* (IAPS, 2008).

постројења, хангари, силоси, водоторњеви, бране, саобраћајна инфраструктура и сл.) и сматрају га „хладним“ и „недовршеним“.<sup>319</sup>

Низ студија случаја које су спроведене у оквиру истраживачког пројекта PROBE (The Post-Occupancy Review of Buildings and their Engineering), реализованог у периоду од 1995-2002. године, указао је на различике у тумачењу квалитета архитектонских простора између пројектаната и корисника.<sup>320</sup> Анкетирање корисника у вези са задовољством при коришћењу простора школске зграде, награђене првом наградом од стране стручног жирија, указало је на то да потребе корисника нису довољно схваћене или третиране од стране пројектанта (Слика 43).



**Слика 43.** Необјављена анкета корисника у вези са квалитетима простора школске зграде. [Извор: В. Bordass, „Design intent to Reality: Post-Occupancy Evaluation, comfort and human factors“, Joint Workshop SEAI and SFI-SRC ITOBO, University College Cork, 2011]

Задовољавање и иницирање потреба корисника подразумева разумевање њихових свакодневних активности, односно разумевање начина на који перципирају, осећају, мисле и понашају се у простору. Како би се одговорило на овај, пре свега етички изазов, корисници морају у већој мери бити укључени у процес конципирања њиховог физичког окружења. Овакав сензитивни приступ омогућио би остварење

<sup>319</sup> I. Benz and R. Rambow, „Architects’ and Non-Architects’ Perception of Exposed Concrete as a Building Material“ (poster presented at the XXIX International Congress of Psychology, ICC, Berlin, 2008).

<sup>320</sup> B. Bordass, „Design intent to Reality: Post-Occupancy Evaluation, comfort and human factors“ (paper presented at the Joint Workshop SEAI and SFI-SRC ITOBO, University College Cork, 2011).

чвршће везе између људи и њихових животних простора. Архитектонски простори постали би вредни очувања.

На основу спроведене анализе принципа пројектовања конструкција зграда у складу са постављеним интегрисаним циљевима, који произилазе из индикатора еколошког квалитета зграде, односно спознавања могућих облика повезаности и зависности подсистема зграде, конструкције и конструктивних материјала, односно понашања ових подсистема усмереног ка постизању циља система-зграде – еколошког квалитета, изведени су критеријуми за интегрисано пројектовање и вредновање конструкција зграда у оквиру критеријума социјалних добробити за кориснике током фазе употребе зграде, дати у приложеној табели (**Табела 8**).

2.1.1.2.1 Критеријуми за интегрисано пројектовање и вредновање конструкција зграда у оквиру критеријума социјалних добробити за кориснике током фазе употребе зграде

Табела 8

Критеријум социјалних добробити за власнике/кориснике током фазе употребе зграде	Критеријуми за интегрисано пројектовање и вредновање конструкција зграда	
заштита и безбедност	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ниво заштите од пожара, јаких ветрова, интензивних падавина, поплава, грмљавине, земљотреса, удара, експлозија</li> <li>- ниво заштите здравља и заштите од повређивања током употребе</li> <li>- ниво заштите од провала и крађа</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• резерве у процењеним оптерећењима</li> <li>• робустност конструкције – дуктилност, континуитет, редундантност</li> <li>• деформабилност и „оштетљивост“ конструкције (најава лома)</li> <li>• редуција торзије зграде (минимизовање непредвидивих концентрација напона)</li> <li>• адекватан положај маса по вертикали (веће масе на нижим етажама)</li> <li>• избегавање великих конзолних препуста</li> <li>• директније путање оптерећења</li> <li>• равномернија расподела напона</li> <li>• избегавање или елиминација ирегуларности конструкције по вертикали и хоризонтали (варијације у конструктивном систему, чврстоћи и крутости)</li> <li>• примена негоривих и материјала отпорних према пожару у прописаном трајању</li> <li>• могућност да конструкција при дејству пожара, током захтеваног времена, очува носивост, интегритет и термоизолационо својство (у случају носећих зидова)</li> <li>• адекватне мере за редуковање ефеката скупљања, бубрења и пузања материјала</li> <li>• адекватне мере за редуковање ефеката неравномерног слегања тла и померања ослонаца</li> <li>• адекватна носивост веза између елемената конструкције</li> </ul>
топлотни комфор	<ul style="list-style-type: none"> <li>- температура ваздуха</li> <li>- средња температура зрачења околних површина</li> <li>- релативна влажност ваздуха</li> <li>- релативна брзина ваздуха, интензитет турбуленције, промаја</li> <li>- степен заштите од директног сунца</li> <li>- оцена од стране корисника</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• повећање топлотне отпорности</li> <li>• минимизовање топлотних мостова (оквирни фактор)</li> <li>• заптивеност склопа (карактер веза и димензионална стабилност материјала)</li> <li>• адекватна топлотна маса</li> <li>• адекватне боје видних конструктивних елемената</li> <li>• температура унутрашњих површина (радијантна температура)</li> <li>• хигроскопска својства материјала – могућност регулације влажности унутрашњих простора (влажење и исушивање конструкције)</li> </ul>

Критеријум социјалних добробити за власнике/кориснике током фазе употребе зграде		Критеријуми за интегрисано пројектовање и вредновање конструкција зграда
ваздушни комфор	<ul style="list-style-type: none"> <li>- количина у литрима свежег ваздуха у секунди по особи</li> <li>- количина хемијских загађивача ваздуха</li> <li>- ниво радијације</li> <li>- присуство микроба</li> <li>- количина честица и микровлакана</li> <li>- присуство материјала непријатног мириса</li> <li>- оцена од стране корисника</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• минимизовање присуства материјала који емитују штетне супстанце, радијацију и материјала непријатног мириса</li> <li>• редуција присуства материјала који могу ослобађати честице и микровлакана</li> <li>• редуција присуства микроба - елиминација појаве претераног влажења у зони конструкције и појаве буђи <ul style="list-style-type: none"> <li>○ могућност измена ваздуха кроз омотач зграде – пропусност за ваздух конструкције</li> <li>○ минимизовање топлотних мостова</li> <li>○ адекватни спојеви носећих елемената</li> </ul> </li> </ul>
акустички комфор	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ниво позадинске/амбијенталне буке од спољних извора, инсталираних система, људског говора и активности (ниво звучног притиска у простору)</li> <li>- акустичке перформансе у складу са наменом простора</li> <li>- оцена од стране корисника</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• вредност индекса звучне редуције</li> <li>• ниво изолације од звука удара</li> <li>• степен бочног превођења или индиректне трансмисије ваздушног звука и звука удара <ul style="list-style-type: none"> <li>○ адекватна материјализација елемената конструкције</li> <li>○ адекватни детаљи на месту укрштања конструктивних елемената</li> </ul> </li> <li>• одговарајуће акустичке перформансе материјала и склопа (рефлексија и апсорпција) - адекватна материјализација и обликовање елемената конструкције <ul style="list-style-type: none"> <li>○ време реверберације - коефицијент апсорпције</li> <li>○ дифузност</li> <li>○ прве рефлексије</li> </ul> </li> </ul>
операциони комфор	<ul style="list-style-type: none"> <li>- могућност контроле одређених параметара термалног, акустичког, светлосног и ваздушног комфора, од стране корисника</li> </ul>	
квалитет воде	<ul style="list-style-type: none"> <li>- доступност пијаће воде</li> <li>- присуство микроба</li> <li>- хемијски састав</li> <li>- ниво радиоактивности</li> </ul>	
ниво електромагнетног загађења	<ul style="list-style-type: none"> <li>- јачина електромагнетног поља</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• удео и позиција металних елемената у конструкцији</li> </ul>



Критеријум социјалних добробити за власнике/кориснике током фазе употребе зграде		Критеријуми за интегрисано пројектовање и вредновање конструкција зграда
лака приступачност просторима зграде	- несметано кретање особа са инвалидитетом, деце и старих особа	
заступљеност потребних садржаја	- доступност и број садржаја - функционалне перформансе сервиса - оцена од стране корисника	
квалитет организације садржаја	- степен остварења просторног стандарда - односи између зона - комуникационе везе - оцена од стране корисника	<ul style="list-style-type: none"> <li>• ефикасност конструкције за жељени систем простора - димензије простора; релације између појединих зона; комуникационе везе између појединих зона <ul style="list-style-type: none"> <li>○ могућност остварења жељене функције (улоге) простора</li> <li>○ степен окупираности пресечних зона социјалних простора</li> </ul> </li> </ul>
погодност простора за пренамену	- могућност реализације различитих активности - могућност различитог уређења и опремања - прилагодљивост система - могућност интервенције у односу на решење спољног омотача	<ul style="list-style-type: none"> <li>• степен ослобођења од унутрашњих физичких препрека (стубови и носећи зидови)</li> <li>• једноставност прилагођавања система (посебно инсталационих)</li> <li>• решење спољног омотача зграде које омогућава интервенције у унутрашњем простору без радикалних измена спољног изгледа зграде</li> <li>• лака раздвојивост оних елемената простора који имају значајно различит технички и економски век</li> <li>• лака физичка раздвојивост кључних „слојева“ зграде (конструкције, инсталација и лаких унутрашњих преграда) <ul style="list-style-type: none"> <li>○ карактер веза између конструктивних елемената и веза у оквиру композитних конструктивних елемената</li> </ul> </li> <li>• адекватни распони конструкције</li> <li>• адекватна висина унутрашњих простора</li> <li>• резерва у носивости конструкције</li> <li>• трајност конструкције - могућност лаких поправки, одржавања или замене компоненти конструкције <ul style="list-style-type: none"> <li>○ примена лако доступних материјала</li> <li>○ примена стандардизованих компоненти</li> <li>○ једноставност детаља конструкције</li> </ul> </li> <li>• лако остварење веза нових конструктивних елемената са постојећом конструкцијом</li> <li>• могућност лаког накнадног формирања отвора у површинским носећим елементима</li> </ul>

Критеријум социјалних добробити за власнике/кориснике током фазе употребе зграде		Критеријуми за интегрисано пројектовање и вредновање конструкција зграда
лакоћа одржавања зграде	<ul style="list-style-type: none"> <li>- приступачност за одржавање</li> <li>- учесталост одржавања</li> <li>- обим радова на одржавању</li> <li>- начин одржавања – врста радова и организација посла</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• поузданост и оптимална трајност конструкције - минимална оштећења - познавање механизма разарања конструкције (механички, климатски, хемијско-технолошки, биолошки) и својстава и механизма деградације материјала <ul style="list-style-type: none"> <li>○ резерва у носивости конструкције</li> <li>○ адекватан квалитет примењених материјала <ul style="list-style-type: none"> <li>○ примена испитаних материјала и производа - нереактивни материјали, неосетљиви на влагу (мала подложност пропадању и трошењу)</li> <li>○ адекватан квалитет и заштита материјала према специфичним условима у окружењу (према степену изложености)</li> </ul> </li> <li>○ адекватан начин примене материјала - адекватна глобална концепција и детаљи <ul style="list-style-type: none"> <li>○ детаљи који елиминишу задржавање воде на елементима конструкције</li> <li>○ редукована могућност за продор влаге кроз спојеве и пукотине</li> <li>○ склопови који омогућавају исушивање</li> <li>○ елиминација кондензације у зони конструкције (избегавање великих температурних разлике у зони конструкције)</li> <li>○ елиминација материјала који убрзавају пропадање другог материјала у вези</li> <li>○ примена материјала са истим коефицијентом термалне експанзије</li> </ul> </li> <li>○ адекватан начин градње, извођења и одржавања</li> </ul> </li> <li>• приступачност за одржавање - приступ свим деловима конструкције</li> <li>• мала учесталост одржавања</li> <li>• могућност лаке поправке</li> <li>• могућност замене виталних и лако трошивих или оштећењима подложних делова</li> <li>• избегавање комбинација материјала различите трајности у композитним системима и елементима уколико је раздвајање неизводљиво</li> </ul>
локацијски аспекти	<ul style="list-style-type: none"> <li>- мали ризици на локацији</li> <li>- ефикасност инфраструктуре</li> <li>- приступ јавним службама</li> <li>- близина услужних делатности</li> <li>- кратке пешачке дистанце</li> <li>- погодност за употребу бицикала</li> <li>- близина јавног превоза</li> <li>- присуство зеленила</li> </ul>	

Критеријум социјалних добробити за власнике/кориснике током фазе употребе зграде		Критеријуми за интегрисано пројектовање и вредновање конструкција зграда
<p>визуелни аспекти</p> <p>светлосни комфор</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- ниво и обрасци визуелне стимулације</li> <li>- оцена од стране корисника</li>   <li>- проценат површине под дневним светлом</li> <li>- контрола упада директне сунчеве светлости</li> <li>- ниво осветљености</li> <li>- равномерност осветљености</li> <li>- контрола бљеска, директног или рефлектујућег</li> <li>- перформансе осветљења у складу са наменом простора</li> <li>- оцена од стране корисника</li> </ul>	<p>адекватна визуелна стимулација - степен усклађености нивоа и образаца визуелне стимулације са предвиђеном улогом архитектонског простора</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• ниво читљивости простора <ul style="list-style-type: none"> <li>○ светлосни комфор</li> <li>○ могућност формирања отвора – могуће величине, облици и позиције отвора</li> <li>○ адекватни облици елемената конструкције</li> <li>○ адекватна структуре, боје и текстуре материјала видне конструкције (степен транспарентности и рефлексије)</li> <li>○ могућност идентификовања и организовања визуелних пространих информација у кохерентни образац (зоне, ивице, путање, чворишта и оријентири)</li> <li>○ адекватни облици елемената конструкције</li> <li>○ адекватна структуре, боје и текстуре материјала видне конструкције</li> </ul> </li> <li>• ниво визуелне комплексности простора (број елемената конструкције; хетерогеност елемената по облику, боји и текстури; ирегуларност облика и диспозиције елемената) <ul style="list-style-type: none"> <li>○ ниво уређености – могућност да делови буду „виђени“ у смислу њихове улоге у оквиру веће интегралне целине (комплексни ред)</li> <li>○ ниво хармоничности - „сагласје и непостојање дисонантности у односима елемената и простора као целине“</li> </ul> </li> <li>• ниво кохерентности сегмената простора <ul style="list-style-type: none"> <li>○ конзистентност на апстрактном нивоу - вишеструке, понављајуће одлике, основни израз правила и тематског континуитета</li> </ul> </li> <li>• могућност схватања употребне вредности простора и његових делова - асоцијативни оквир у складу са наменом простора и културолошки условљеним очекивањима (степен типичности) <ul style="list-style-type: none"> <li>○ могућност читавања структуралне логике</li> <li>○ могућност читавања физичко-хемијске димензије елемената конструкције</li> </ul> </li> <li>• адекватан симболички систем (симболичка значења облика и материјала видне конструкције)</li> </ul>

[Извор: Табела аутора]

## ПРОЈЕКТОВАЊЕ ФЕРОЦЕМЕНТА И КОНСТРУКЦИЈА ЗАСНОВАНИХ НА ЊЕГОВОЈ ПРИМЕНИ У СКЛАДУ СА КРИТЕРИЈУМИМА ЗА ИНТЕГРИСАНО ПРОЈЕКТОВАЊЕ И ВРЕДНОВАЊЕ КОНСТРУКЦИЈА ЗГРАДА

У оквиру претходно истражених аспеката пројектовања конструкција зграда, у оквиру интегрисаног приступа пројектовању и вредновању остварених резултата, са циљем остварења еколошког квалитета зграда, посебна пажња је посвећена материјалним аспектима. Анализирани су принципи интегрисаног пројектовања конструкција заснованих на примени класичног армираног бетона, челика, дрвета и елемената за зидање, као материјала и елемената који су у нашој земљи најчешће у употреби за израду конструкција зграда. На основу предметне анализе утврђени су критеријуми за интегрисано пројектовање и вредновање конструкција, у функцији остварења еколошког квалитета зграда.

Један од конструктивних материјала из категорије композитних, односно пројектованих материјала, који се у свету све чешће примењује за израду конструкција зграда, због посебних функционалних и обликовних могућности које нуди, а који се тек од недавно и у веома скромном обиму примењује и у нашој земљи, је фeroцемент, који представља посебну форму танкозидног армираног бетона. Према Комитету 549 Америчког института за бетон „ferоцемент је форма армираног бетона изведеног од блиско распоређених вишеструких слојева мрежа и/или шипки арматуре малог пречника, уграђених у цементни малтер. Најчешћи тип арматуре су челичне мреже“.<sup>321</sup> Фероцемент се формира на начин који обезбеђује „различито понашање у односу на класични армирани бетон у погледу чврстоће и деформација...чиме се класификује као посебан материјал“.<sup>322</sup> Фероцемент се разликује од класичног цементног малтера и класичног армираног бетона по „унапређеној еластичности, финим прслинама, мањој пропусности за водену пару и гасове, дуктилности, трајности...оствареним кроз адекватну контролу параметара арматуре и особина малтерске смеше“.<sup>323</sup> С' обзиром на то му се својства дефинишу

---

<sup>321</sup> ACI Committee 549, *Guide for the Design, Construction, and Repair of Ferrocement*, 2.

<sup>322</sup> Ibid., 2.

<sup>323</sup> IFS Committees 10, *Ferrocement Model Code*, 1.2.

од стране пројектанта, фeroцемент омогућава реализацију суштинског циља интегрисаног пројектовања, а то реализација решења која произилазе из њима својственог скупа параметара.

Применом фeroцементa могу се израђивати разноврсне конструкције и њихови елементи, у стандардним дебљинама од 1-3cm, што је у класичном армираном бетону практично неизводљиво. За разлику од многих конвенционалних материјала фeroцемент нуди могућност слободног обликовања. За разлику од класичног армираног бетона, фeroцемент може бити конструисан без оплате у скоро било који облик. Израда конструкција од фeroцементa није технолошки превише захтевна. За израду фeroцементних компоненти није потребна специјална опрема. Његова израда је захтевна по питању утрошка рада (што лимитира његову примену у земљама са високом ценом рада), али се вештине потребне за његову израду могу лако савладати.

Имајући у виду посебне функционалне и обликовне могућности које нуди фeroцемент као материјал, у оквиру овог сегмента истраживања, анализирају се принципи пројектовања фeroцементa и конструкција заснованих на његовој примени, у складу са критеријумима за интегрисано пројектовање и вредновање конструкција зграда, као и еколошки ефекти примене овог композитног материјала у склопу конструкција, према критеријуму заштите животне средине током животног циклуса зграде и према критеријуму социјалних добробити током фазе употребе зграде.

### **3.1 Историја фeroцементa**

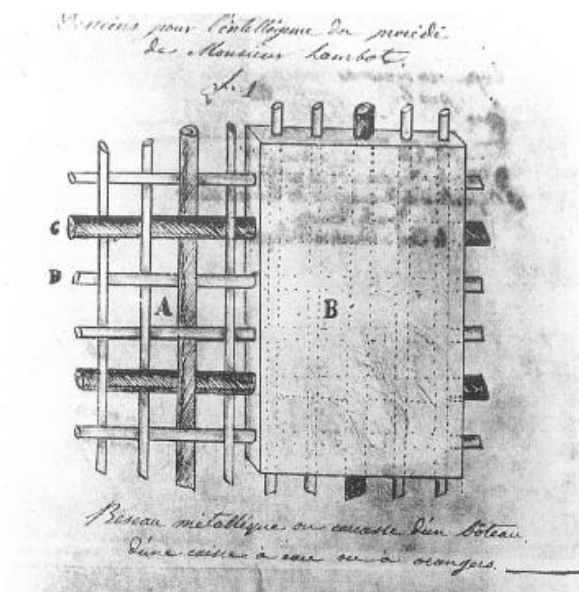
“Еволуција бетона у модерној историји почиње са изумом портланд цемента”.<sup>324</sup> 1824. године Џозеф Аспдин развија мешавину глине и кречњака, коју назива “Портланд цемент” и описује је као унапређење у начинима производње вештачког камена. 1844. Чарлс Џонсон значајно унапређује својства цемента, а тиме и бетона, загревањем мешавине до синтеровања. Први експерименти везани за инкорпорирање гвоздене арматуре у бетон, како би се побољшала његова носивост на затезање, одвијају се средином деветнаестог века. Први патент који се односи на

---

<sup>324</sup> Kind-Barkauskas et al., *Concrete construction manual*, 6.

армирање бетона гвожђем пријављен је 1854. године за армирано бетонску композитну таваничну плочу “Изум се тиче конструкција отпорних на пожар, са бетонским подовима армираним помоћу ужади и танких гвоздених шипки уграђених испод средње осе бетона”.<sup>325</sup>

Један од истраживача који су у то време радили на проблему армираног бетона био је и француз Жозеф Луи Ламбо. Разматрао је могућност замене дрвених елемената армиранобетонским, за израду структура изложених дејству влаге. Материјал сачињен од металне мреже у слоју малера патентирао је 1855. године и назвао га “Ferciment” (Слика 44). „Мој изум има нови производ као циљ, који служи да се замени дрво у бродоградњи и где год постоји ризик од оштећивања влажењем, као код дрвених подова, танкова за воду, жардињера и сл. Нови замењујући материјал састоји се од металне мреже од жица и шипки, повезаних или међусобно испреплетених у било којој форми. Ја дајем овој мрежи форму која најбоље одговара објекту који желим да произведем и затим је уграђујем у хидраулични цемент и тиме елиминишем било какве спојеве“.<sup>326</sup>



Слика 44. Патент за Ферицимент, 1855. [Извор: F. Kind-Barkauskas, B. Kauhsen, S. Polonyi, and J. Brandt, *Concrete construction manual* (Basel-Boston-Berlin: Birkhäuser, 2002),13]

Међутим, технологија производње и цена мрежа од жица малог пречника нису ишле у прилог масовној примени овог материјала. Доминантна је постала

<sup>325</sup> Kind-Barkauskas et al., *Concrete construction manual*, 13.

<sup>326</sup> Ibid., 13.

примена профила арматуре већег пречника, што је водило ка стандардним конструкцијама од армираног бетона. Има мало примера примене фeroцементa све до 1942. године, када Пјер Луиђи Нерви почиње низ експеримената са овим материјалом. На основу претходних истраживања, Нерви у априлу 1943. године пријављује патент презентирајући као унапређење у грађењу плоча и других армиранобетонских структура.<sup>327</sup> Нову технику градње засновану на примени фeroцементa првобитно примењује за изградњу бродова.<sup>328</sup> Након реализације бродова Нерви започиње низ експеримената са фeroцементом у оквиру архитектонских конструкција. Нерви је окарактерисао материјал као „истинску револуцију са аспекта изградње и естетике“.<sup>329</sup> Највећи помак се односио на сам процес изградње. „Метална мрежа формирана је на начин да може да задржи цементни малтер притиснут мистријом, док не изађе са супротне стране“,<sup>330</sup> што је елиминисало потребу за дрвеном оплатом и ливењем, истовремено дајући могућност реализације комплексних облика, уз минималну потрошњу материјала.

Упркос демонстрацијама његове употребљивости у носећим конструкцијама и доказима да је адекватан и економичан материјал за градњу, фeroцемент није наишао на шире прихватање све до раних шездесетих година прошлог века од када се интензивније примењује у градњи пловних објеката, силоса, резервоара за течности, цеви, јама, канала и пешачких мостова. Фeroцемент се од тог периода све више примењује и у архитектонским конструкцијама, посебно у стамбеној изградњи, због посебних функционалних и обликовних могућности које нуди. Амерички Институт за бетон 1976. године формира Комитет 549, који се бави фeroцементом као посебним материјалом и има за циљ да установи прописе везане за примену фeroцементa. На Азијском технолошком институту у Банкоку се 1976. Године формира Интернационални информациони центар за фeroцемент. RILEM 1979. године формира Комитет 48-FC са циљем утврђивања метода за тестирање фeroцементa. Интернационално друштво за фeroцемент формира Комитет за фeroцемент који 2001. године објављује Правилник за фeroцемент. У Србији

---

<sup>327</sup> Greco, "Ferro-cemento of Pier Luigi Nervi", 309.

<sup>328</sup> Нерви је саградио брод где је постигнута тежина била 5% мања од тежине дрвеног брода, уз 40% мању цену од цене дрвеног брода, у то време.

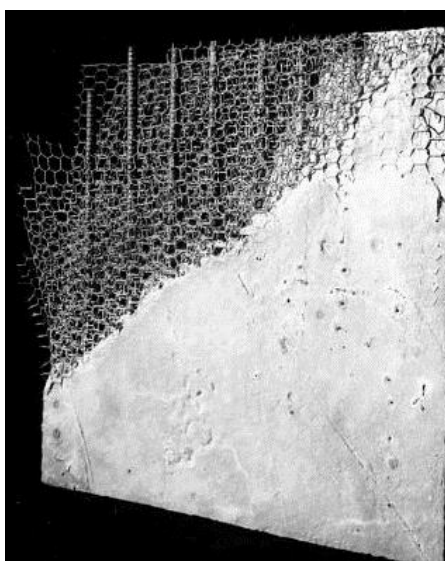
<sup>329</sup> Nervi, *Costruzioni navali in cemento armato*. Quoted in Greco, "Ferro-cemento of Pier Luigi Nervi", 311.

<sup>330</sup> Nervi, *Arte o Scienza del costruire?*. Quoted in Greco, "Ferro-cemento of Pier Luigi Nervi", 311.

Савезни завод за стандардизацију издаје прву Техничку препоруку за фeroцемент 2002. године.

### 3.2 Пројектовање састава фeroцементa

Као посебна форма армираног бетона, композитни материјал фeroцемент се састоји од танког слоја цементног малтера, у коме се налази висок проценат арматуре у форми вишеструких слојева континуалне лаке мреже, са блиско распоређеним жицама, коју чине влакна релативно малог пречника (Слика 45).



Слика 45. Типична структура елемента од фeroцементa. [Извор: ACI Committee 549, *State-of-the-Art Report on Ferrocement, ACI 549R-97* (Farmington Hills: American Concrete Institute, 1997)]

Постоје многе сличности између фeroцементa и класичног армираног бетона. Ипак, постоје бројни фактори који су значајни за схватање разлика у њиховом понашању.

Суштинска разлика између фeroцементa и класичног армираног бетона везана је за количину арматуре и њену расподелу унутар композита. У поређењу са класичним армираним бетоном фeroцемент има већи проценат арматуре, сачињене од блиско постављених жица малог пречника, која је равномерно распоређена по пресеку, што обезбеђује већу контактну површину арматуре и малтера, него што је то случај код класичног армираног бетона. У једном сантиметру дебљине фeroцементa може бити присутно и до 5 слојева мрежа, тако да количина челика по  $m^3$  фeroцементa може бити и до 650kg, односно и до  $\frac{1}{4}$  запремине (обзиром на већу



количину арматуре по  $m^3$ , специфична тежина фeroцементa варира од 2.5-2.8  $t/m^3$ ).<sup>331</sup> Блиско и равномерно распоређена арматура у фeroцементу трансформише крт малтер у чвршћи и жилавији композит. Ширина прслина је, за исту вредност напона затезања у челику, у случају фeroцементa десет пута мања него у случају класичног армираног бетона.<sup>332</sup> Садржај челика у малтеру од 120-240 $kg/m^3$  неће унапредити издужење композита, али са порастом запреминског удела арматуре од 480-650 $kg/m^3$  долази до пораста издужења композита и до 5 пута у односу на неармирани малтер.

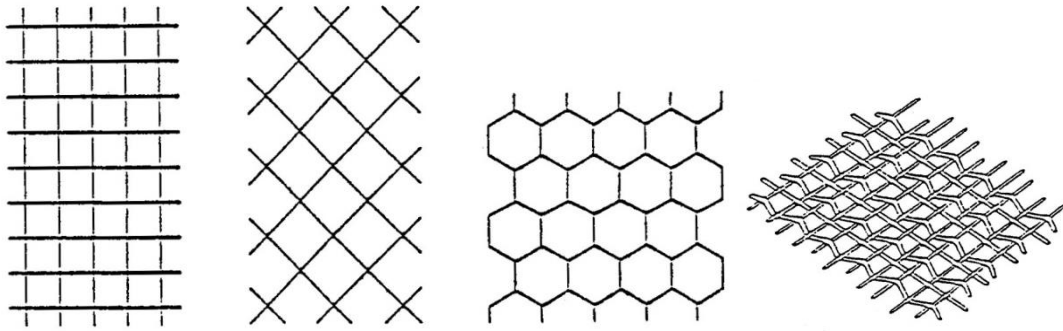
Арматура која се користи у фeroцементу може бити у форми мрежа добијених развлачењем, заварених и плетених жичаних мрежа, жица или шипки, као и жица или ужади за преднапрезање (код дебљих фeroцементних елемената). Мреже добијене развлачењем одликује недостатак флексибилности, што отежава примену код конструкција које имају оштре кривине. У употреби су најчешће жичане мреже које имају шестоугаоне или квадратне отворе. Мреже са шестоугаоним отворима се често називају „мрежама за живину“. Оне нису у погледу механичког понашања ефикасне као мреже са квадратним отворима. Међутим, оне су врло флексибилне и могу се користити у елементима са двоструком кривином. Мреже са квадратним отворима се израђују у завареној или плетеној форми. Плетене мреже су флексибилније и лакше за уградњу од заварених. Могућа је и примена тродимензионалних челичних мрежа (**Слика 46**), када је најчешће довољан само један слој мреже за армирање. Мреже које се користе за израду фeroцементa треба да буду галванизоване,<sup>333</sup> са циљем редуковања корозије. При томе треба имати у виду да галванизација изазива редукацију чврстоће на затезање мрежа. Мреже пре уградње треба да буде чисте, без прашине, рђе, остатака боје, уља и сл. У **Табела 9** су дати уобичајени типови и величине челичних мрежа коришћених у фeroцементу.

---

<sup>331</sup> Без обзира што је потрошња арматуре у фeroцементу по  $m^3$  већа него у случају класичног армираног бетона, фeroцементни конструктивни елементи не подразумевају опште повећање потрошње челика, обзиром на њихову мању тежину (дебљина фeroцементних елемената је углавном мања од 3cm, док је код армираног бетона она углавном већа од 10cm).

<sup>332</sup> Shah & Naaman, „Crack Control in Ferrocement and its Comparison with Reinforced Concrete“, 67-80.

<sup>333</sup> Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*, 166.



Слика 46. Стандардне геометрије мрежа за армирање фeroцементa. [Извор: Комисија за стандарде из области Бетонских конструкција, *Техничка препорука за фeroцемент: Feroceмент - Правила за пројектовање, извођење и одржавање* (Београд: Савезни завод за стандардизацију, 2002), 7 и 12]

Табела 9 - Уобичајени типови и величине челичних мрежа коришћених у фeroцементу

Тип	Облик	Начин формирања	Размак жице	Пречник жице или дебљина жице
			mm	mm
Жичана мрежа	Квадратна	Плетена или заварена	19	1,6
			13	1
			8,5	0,72
		6,4	0,64	
Жичана мрежа	Правоугаона	Заварена	25	2
			50 x 25	2
Жичана мрежа	Хексагонална	Уврнута	25	1,2
			25	0,88
			13	0,72
Металне мреже добијене развлачењем	Облик дијаманта	Прорезана и обликована		0,58
				1
				0,76

[Извор: А.Е. Naaman, *Feroceмент and Laminated Cementitious Composites* (Ann Arbor: Techno Press 3000, 2000), 19]

У оквиру фeroцементa могућа је и употреба скелетне арматуре, која представља скелет од међусобно повезаних челичних шипки, који обезбеђује облик и основу за слојеве мреже који се везују са обе стране. Скелетна арматура је обично равномерно распоређена у два правца, са растојањем челичних шипки од 5-15cm. Својства скелетне арматуре као што су чврстоћа, пречник шипки и начин заштите од корозије утичу на перформансе композита. Генерално су у употреби стандардни

конструкциони челици (S235, S335 – JUS EN 10027-1). Пречници шипки скелетне арматуре варирају 4-10mm, при чему је 6mm најчешћи. Пречници шипки скелетне арматуре не би требало да прелазе 25% дебљине композита.<sup>334</sup>

Ипак, за дати запремински удео арматуре, боље перформансе, у смислу ширине прслина, водонепропустљивости и дуктилности, могу се постићи равномернијом расподелом арматуре по дебљини елемента и повећањем њене специфичне површине.<sup>335</sup> Укупна специфична површина арматуре<sup>336</sup> не треба да буде мања од  $0.08\text{mm}^2/\text{mm}^3$ .<sup>337</sup>

Истраживање у коме су упоређени методи армирања фероцемента, метод где се комбинује скелетна арматура и мреже и метод где је армирање извршено само мрежама, показало је да скелетна арматура није у пуној мери искоришћена, да води ка концентрацији напона, остављајући велики део површине пресека неактивним. У случају примене само мрежне арматуре уочен је велики пораст односа чврстоће према тежини елемената.<sup>338</sup>

Повећање броја слојева мрежа у фероцементу у појединим случајевима није најефикаснији начин да се повећа напон у елементу пре појаве лома. Преармираност затегнуте зоне у случају савијања може да доведе до лома по малтеру у притиснутој зони. Такође, у случају великог процента арматуре може доћи до озбиљнијег одламања малтера и раслојавања слојева при напрезању. Додавање синтетичких дисконтинуалних влакана малтерској смеси (1-2%) може успешно савладати наведене проблеме. Додатак влакана повећава чврстоћу фероцемента на смицање и затезање, редукује размак и ширину прслина и тиме дозвољава коришћење мрежа са већим отворима. Редукује се отпадање матера након испрсквања елемената и раслојавања слојева мреже.<sup>339</sup> Главни недостатак додавања дисконтинуалних влакана

---

<sup>334</sup> Naaman, Antoine. *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites* (Ann Arbor: Techno Press 3000, 2000); IFS Committees 10. *Ferrocement Model Code: Building Code Recommendations for Ferrocement* (Thailand: International Ferrocement Society, 2001).

<sup>335</sup> ACI Committee 549. *State-of-the-Art Report on Ferrocement, ACI 549R-97* (Farmington Hills: American Concrete Institute, 1997).

<sup>336</sup> Специфична површина арматуре  $S_r$  је укупна површина пријањања арматуре (контактна површина или површина арматуре која долази у контакт са малтером) подељена са укупном запремином композита.

<sup>337</sup> ACI Committee 549, *ACI 549R-97*, 18.

<sup>338</sup> Dinsbacher and Brauer, „Ferrocement Planing Boat“, 277-296.

<sup>339</sup> El Deb and Naaman, „Bending behavior of mortar reinforced with steel meshes and polymeric fibers“, 327–338; Wang, Naaman, and Li, „Bending response of hybrid ferrocement plates with meshes and fibers“, 275–

у мешавину је извођење композита, обзиром на отежану пенетрацију малтерске смеше кроз окца мреже, што може водити ка појави шупљина и слабијим карактеристикама композита. У том случају је пожељно додавање суперпластификатора и других адитива који треба да осигурају бољу дисперзију влакана и продор смеше кроз слојеве мреже.<sup>340</sup>

Иако су мреже за армирање фeroцементa најчешће челичне, могућа је и примена мрежа од синтетичких влакана, чиме се добијају лакши елементи и избегавају проблеми корозије. Међутим, поред ограничења везаног за високу цену ових мрежа, примену мрежа од синтетичких влакана као армиране ограничава и чињеница да њихове карактеристике у оквиру цементног композита још увек нису у довољној мери испитане.<sup>341</sup> Постоји потреба за испитивањем трајности и дугорочне стабилности фeroцементa са овим типом мрежа.<sup>342</sup> Уочен је проблем тешког остварења довољно јаке везе влакана армиране и цементног малтера, односно њихове композитне акције, проблем мале отпорности на смицање елемената, као и проблем кртости елемената, обзиром на то да овај тип мрежа показује линеарно еластично понашање при затезању водећи ка кргом лому без упозорења<sup>343</sup>.

Малтер за израду фeroцементa се справља од портланд цемента, финог агрегата, воде и различитих додатака у складу са захтевима. Материјал треба да задовољи стандарде сличне онима који се користе за квалитет класичног армираног бетона.<sup>344</sup> Мешавина треба да буде оптимизирана у складу са локалним условима окружења.<sup>345</sup> Цементни малтер најчешће чини од 80-95% запремине фeroцементa и има велики утицај на његово понашање.<sup>346</sup> У том смислу, мора се посветити велика пажња избору конститутивних материјала, као и справљању и уграђивању малтера. Хемијски састав цемента, природа агрегата, однос агрегат-цемент и водоцементни фактор су главни параметри који одређују особине малтера, укључујући његову текстуру у боју (различити тонови сиве боје –“не-боје”). Малтерској смеси може

---

288; ACI Committee 549. *State-of-the-Art Report on Ferrocement, ACI 549R-97* (Farmington Hills: American Concrete Institute, 1997).

<sup>340</sup> Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*, 305.

<sup>341</sup> Bolander and Perez-lara, „Service life simulation of thin reinforced cement-based composites“, 155-162.

<sup>342</sup> Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*, 297.

<sup>343</sup> Ibid., 283.

<sup>344</sup> IFS Committees 10, *Ferrocement Model Code*, 2.1.

<sup>345</sup> Ibid., 2.1.

<sup>346</sup> Ibid., 2.1.

бити додата и интегрална хроматска боја.

Уобичајено, агрегат се састоји од добро фракционисаног финог агрегата (песка) који пролази кроз отвор сита до 2mm.<sup>347</sup> Максимална величина зрна мора бити одређена у зависности од величине отвора мреже и удаљења између слојева мреже. Величина зрна која пролази кроз сито отвора 1mm је најпогоднија за ширу примену. Равномерна гранулација је најбоља за постизање лако обрадивог малтера. Однос агрегат-цемент је од (1.0) 1.5 до 2.5. Агрегат треба да буде чист, инертан, без органских материја, по могућству без муља и глине. За израду фероцемента могу се користити и лаки агрегати (вулкански пепео, шљака из високих пећи, експандиране fine честице глинца, перлит, пловућац, вермикулит, алкално резистентна пластика). Коришћење лаких агрегата уместо агрегата нормалне тежине доводи до редукације у чврстоћи малтера. Агрегати који реагују на алкалне материје у цементу треба да се избегавају.

Потрошња цемента у фероцементу варира од 400-800kg/m<sup>3</sup>, што је у просеку више него у случају класичног армираног бетона. Међутим, у поређењу са класичним армираним бетоном фероцементни елементи не подразумевају опште повећање потрошње цемента, обзиром на мању запремину елемената. Избор цемента зависи од услова у којима ће се конструкција налазити, који се могу се поделити на електрохемијски пасивне или активне. Конструкције које се налазе у контакту са земљом или водом, могу се сматрати пасивним, осим у случају када су у контакту са сулфатним тлом, када се мора користити цемент отпоран на сулфате.

Вода за малтер треба да буде свежа и чиста (pH≥7). Водоцементни фактор код фероцемента се креће од 0.35 - 0.5 (оптимално 0.4), за разлику од водоцементног фактора код класичног бетона, који се креће од 0.5 - 0.65, у зависности од класе изложености.

Када је конструкција изложена агресивним дејствима, морају се користити додаци или премази да би се побољшала трајност фероцемента. Малтерској смеши се могу додати хемијски додаци са циљем смањења водоцементног фактора, односно повећања чврстоће и водонепропусности. Могу се додати и аеранти са циљем повећања отпорности на смрзавање и одмрзавање, као и додаци за супресију реакције између галванизоване арматуре и цемента. Могућа је и примена ретардера у случају

---

<sup>347</sup> IFS Committees 10, *Ferrocement Model Code*, 2.1.

потребе за обимним малтерисањем, посебно у топлим временским условима. Могу се користити и минерални додаци као што су електрофилтерски пепео, згура и силикатна прашина. Ови додаци могу унапредити особине фeroцементa, односно омогућити лакшу уградњу, допринети већој чврстоћи и мањој пропусности за водену пару и гасове, а тиме и већој трајности. До 15% цемента може бити замењено силикатном прашином без губитка чврстоће.<sup>348</sup> Међутим, присуство силикатне прашине захтева додатну количину суперпластификтора како би се одржала конзистенција и течење малтерске смеше. Замена цемента летећим пепелом може редуковати ране чврстоће фeroцементa. Уочен је пад чврстоће на савијање је 7% за удео од 10% летећег пепела.<sup>349</sup> Међутим, касније чврстоће су задовољавајуће.<sup>350</sup> У том смислу могуће је заменити до 20% цемента летећим пепелом без значајнијег губитка чврстоће.<sup>351</sup>

Модул финоће песка, водоцементни фактор и однос песак-цемент могу се одредити справљањем пробних партија како би се добила мешавина која може обухватити мрежу за армирање, а да се истовремено добије крут и пластичан малтер. Пластичност малтера треба да буде таква да је омогућено продирање малтера кроз мрежу и она је основни критеријум при пројектовању смеше. Скупљање није проблем код фeroцементa, обзиром на велики садржај арматуре. Потребно је утврдити садржај влаге агрегата, како би се одредила количина потребне воде. Такође, за многе примене, 28 дана старе призме димензија 40x40x160mm не смеју да имају мању чврстоћу од 35 МПа, а за коцке стране 100mm не мању чврстоћу од 40 МПа. За одређена подручја примене цементне мешавине се могу пројектовати за веће чврстоће, лакшу уградњу, самоконсолидацију и самозбијање.

Аберкромби наводи неколико правила за одређивање пропорција примењених материјала у оквиру фeroцементa, која ће дати довољно квалитетан материјал за већину случајева примене: количина арматуре треба да буде пола количине цемента; количина цемента треба да буде пола количине песка; количина воде треба да буде

---

<sup>348</sup> Kumar, Seshu, & Rao, „Studies on high performance mortar mixes“, 213.

<sup>349</sup> Arif et al., „Flexural Behaviour of Fly Ash Mortar Ferrocement Panels for Low Cost Housing“, 133.

<sup>350</sup> Abdul Salam Alwash, „Flexural Characteristics of Ferrocement“ (M.Sc. Thesis, University of Baghdad, 1974).

<sup>351</sup> Arif et al., „Flexural Behaviour of Fly Ash Mortar Ferrocement Panels for Low Cost Housing“, 125.

пола количине цемента.<sup>352</sup>

Наман даје следеће препоруке за конститутивне материјале и особине фeroцементa (Табела 10):

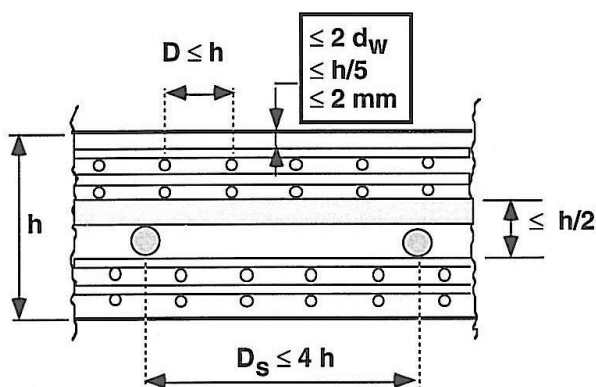
Табела 10 - Препоруке за конститутивне материјале и особине фeroцементa

Жичана – мрежна арматура	Пречник жице: Тип мреже: Димензија окца мреже: Број слојева мреже: Запремински удео арматуре: Специфична површина арматуре:	$0.5 \leq p_z \leq 1.5\text{mm}$ Квадратна плетена или заварена галванизована жичана мрежа; мрежа за живину; или метална мрежа добијена развлачењем $6 \leq D \leq 25\text{mm}$ До 5 слојева по cm дебљине До 8% у оба правца чему одговара до 630 kg/m <sup>3</sup> челичне мрежне арматуре До 4cm <sup>2</sup> /cm <sup>3</sup> у оба правца
Скелетна арматура	Тип: Пречник: Растојање жица: Скелетна арматура није увек присутна	Жице; плетене мреже; шипке; ужад $3 \leq p \leq 10\text{mm}$ $5 \leq R \leq 15\text{cm}$
Типични састав малтера	Портланд цемент: Однос песка према цементу: Однос воде према цементу: Препоруке:	Било који тип у зависности од случаја примене $1 \leq P/C \leq 2.5$ по тежини $0.35 \leq V/C \leq 0.5$ по тежини Фини песак зрна 1.5mm, са 5% песка зрна 0.25mm.  Адитиви: (Летећи пепео / C) = 0.2 Аеранти; Инхибитори корозије; Суперпластификатори, по потреби.
Особине композита	Дебљина Заштитни слој Чврстоћа на затезање Дозвољено затезање Модул лома Однос Савијање/затезање Чврстоћа на притисак	$6 \leq d \leq 50\text{ mm}$ ( најчешће < 30 mm) $1.5 \leq$ заштитни слој $\leq 3\text{ mm}$ До 35 МПа До 14 МПа До 70 МПа Од 2 до 2.5 21 до 96 МПа

[Извор: А.Е. Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites* (Ann Arbor: Techno Press 3000, 2000), 16]

<sup>352</sup> Stanley Abercrombie, *Ferrocement: Building with cement, sand, and wire mesh* (New York: Schocken Books, 1977).

Код класичног бетона проценат армирања је од 0.6-6%, док је у оквиру фeroцементa проценат армирања од 1-4% (у једном правцу). Без обзира на релативно блиске проценте армирања, оно што разликује фeroцемент од класичног армираног бетона је велика специфична површина арматуре (површина пријањања арматуре) што му даје посебне карактеристике. Намап, кроз приложени попречни пресек (Слика 47), даје препоруку у вези са армирањем које треба да осигура адекватно понашање композита.<sup>353</sup>



Слика 47. Сугерисани детаљ који треба да осигура адекватно понашање композита [Извор: А.Е. Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites* (Ann Arbor: Techno Press 3000, 2000), 167]

Препорука је да се положај трансверзалних жица мрежа не поклапа по висини композита, обзиром да је при таквом положају мрежа редукована његова отпорност на смицање. Ширина отвора кроз слојеве мрежа не треба да буде мања од 2 пречника максималног зрна песка, како би се осигурао продор мешавине и редуковали ваздушни чепови и порозност композита.

### 3.3 Извођење фeroцементних елемената и конструкција

Мешавина малтера за фeroцемент може се направити у мешалици и ручним мешањем. Састојци мешавине се дозирају тежински. Малтер се генерално уграђује ручно. У овом процесу малтер се утискује кроз мрежу. Алтернативно, малтер се може убризгавати са специјалним пиштољима за убризгавање. Завршна површина се мора тако урадити да осигура довољни заштитни слој крајњег слоја мреже. Посебна пажња мора бити посвећена обликовању отвора. У земљама где је цена рада

<sup>353</sup> Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*, 167.



релативно велика, торкетирање и технике ламинације могу редуковати цену производње цементних елемената.<sup>354</sup>

Неговање фeroцементa почиње након формирања завршног слоја, када је значајно обезбедити влажност путем прскања водом. Низак водоцементни фактор и висока вредност цемента захтевају велику количину слободне воде у процесу хидратације, а проценат воде који се дозвољава да испари у ваздух мора се свести на минимум. Коришћење справа за замагљивање и орошавање се препоручује. Дупли слојеви наквашених тканина прекривени полиетиленом се такође препоручују.

Постоји неколико начина извођења фeroцементa. Све методе подразумевају висок степен контроле квалитета како би се постигло потпуно обухватање неколико слојева арматурне мреже са добро збијеним портланд цементним малтером, односно са минимумом заробљеног ваздуха, како би се осигурала трајност елемената, али и унапредила његова визуелна својства.

Постоје четири основна поступка извођења фeroцементa:

- арматурни систем,
- систем затворене оплате,
- систем интегралне оплате и
- систем отворене оплате.

У оквиру наведених система за извођење фeroцементa малтер може бити уграђен применом различитих техника укључујући директно ручно уграђивање и машинско убризгавање. Могу бити примењене и варијације ових основних система које укључују фабричке технике производње, као што су равна вибро-постоља и вакумско извлачење.

#### Арматурни систем

Код арматурног система се у жељеном облику формира челични скелет, од везаних арматурних шипки, за који се затим са сваке стране везује захтевани број слојева арматурне мреже (**Слика 48**). Слојеви мрежа треба да буду везани међусобно и за скелетну арматуру на равномерном, релативно блиском размаку. Малтер се уграђује са једне стране и утискује кроз слојеве мреже до друге стране. На овај начин избегава се примена оплате и ослобађајућих средстава и у случају мањих распона и

---

<sup>354</sup> ACI Committee 549, *ACI 549R-97*, 3.

примена скела, обзиром на то да сам челични скелет поседује одређену носивост. Недостатак овог система је велики утрошак рада и времена за израду конструкције. Такође, уградња малтера може бити отежана у случају густих мрежних система, па се као последица могу јавити унутрашње шупљине. Поред наведеног, арматурни системом градње одликује и одређена неефикасност, обзиром на то је висок проценат укупног употребљеног челика лоциран у средини попречног пресека (присуство скелетне арматуре не утиче значајно на пораст носивости при савијању). Поред тога, укупна дебљина пресека је повећана. Такође, тежина арматурног скелета и влажног малтера често може да изазове локална и глобална одступања од жељене геометрије, односно избочавање. Места избочавања постају осетљива на лом и пуцање у фази употребе. Употреба скелетне арматуре може водити ка концентрацији напона и појави прслина и лома малтера дуж праваца ове арматуре.



**Слика 48.** Арматурни систем извођења фероцементне конструкције. [Преузето са <http://biogasplant.blogspot.com/2012/10/step-two-construction-of-ferrocement.html>, 1.2.2012.]

#### Систем затворене оплате

При извођењу фероцемента применом система затворене оплате (**Слика 49**), малтер се наноси са једне стране кроз више слојева мреже који су повезани и задржани у позицији уз површину затворене оплате. Оплата се може користити више пута. Систем затворене оплате омогућава елиминацију шипки скелетне арматуре. Систем затворене оплате је нарочито погодан за “layup“ метод наношења малтера (истекли патент из 1972. године за технику производње фероцемента) код којег се

мрежа поставља у малтер, а не малтер у мрежу.<sup>355</sup> Овај метод обезбеђује одличну уроњеност мреже. Применом овог метода постиже се значајна редукација у количини рада, обзиром да је елиминисана потреба за међусобним увезивањем слојева мрежа. Такође, обзиром на то да није неопходна скелетна арматура, постиже се уштеда у дебљини и тежини композита. Потребни отвори у носећем фероцементном елементу се лако формирају. Ограничавајући фактор при примени овог система могу бити велике и скупе оплате, које су неекономичне за једнократну употребу. У том смислу, систем затворене оплате је исплатив у оквиру фабричке производње фероцементних елемената. Када је у питању префабрикација фероцементних елемената, обзиром на то да је реч о танким и жилавим елементима, може бити отежано очување њихове димензионалне стабилности и непроменљивости, посебно по питању прслина, у фазама производње, транспорта и инсталације. Да би се спречило пуцање и други дефекти, мора бити коришћена специјална опрема. Ово подразумева и прорачун свих комбинација оптерећења у фазама производње, транспорта и уградње. Ипак, уколико се прописано реализују све фазе механизоване производње, постижу се елементи већег квалитета у односу на ручно рађене. У оквиру истраживања технологије извођења фероцемента, део узорака изведен је механизованим процесом, а део ручно израђен. Фероцементне јединице са истом малтерском смешом и арматуром, које су произведене машински показале су и до два пута већу носивост при појави првих прслина, у поређењу са ручно рађеним.<sup>356</sup> Такође, у случају механизоване производње фероцементних елемената остварује се мањи утрошак материјала 20-50%, редукује се комплексност израде и монтаже од 10-15%, као и трошкови до 20%.<sup>357</sup>

---

<sup>355</sup> Iorns, „Some Improved Methods for Building Ferrocement Boats“, 189-203.

<sup>356</sup> Sharma, „Ferrocement technology – Commercial Viability in India“, 249-259.

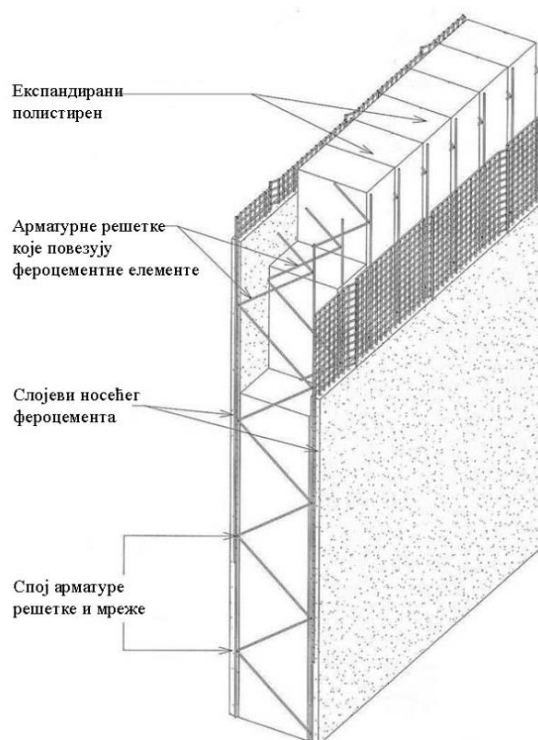
<sup>357</sup> Панарин, Хежев и Чистяков, *Технологические особенности изготовления армоцементных конструкций с огнезащитным слоем на основе вермикулита*, 41-42.



**Слика 49.** Затворена оплата са посебном оплатом за кружни прозор. [Преузето са [http://www.milinkovicco.com/preuzimanje\\_fajlova/slike/hale/izgradnja/1.jpg](http://www.milinkovicco.com/preuzimanje_fajlova/slike/hale/izgradnja/1.jpg), 7.2.2012.]

### Систем интегралне оплате

Систем интегралне оплате подразумева наношење малтера, са једне или две стране, на минимални број слојева мреже. На овај начин, после очвршћавања малтера, формира се крута оплата од фeroцементa слабијег квалитета на коју се са обе стране уграђују арматурна мрежа и малтер. Алтернативно, интегрална оплата може бити формирана употребом крутих изолационих материјала, као што су полистирен или полиуретан, као језгра (**Слика 50**). Малтерска смеша се на језгро наноси торкетирањем, или помоћу “лаур” метода, са обе стране интегралне оплате.



**Слика 50.** Систем интегралне оплате од крутих изолационих материјала. [Извор: Илустрација аутора]

### Систем отворене оплате

У систему отворене оплате малтер се уграђује са једне стране кроз слојеве арматурне мреже или арматурну мрежу и шипке везане за отворену оплату направљену од дрвених летви и рамова. Недостак овог метода је конструисање простране оплате и система за подупирање, који се ретко могу поново употребити.

Фероцементни елементи се могу изводити на лицу места и применом отворене оплате од готових фероцементних елемената (Слика 51) или отворене оплате реализоване обликовањем земљане подлоге у жељени облик (преко обликоване земље се поставља изолациони материјал као подлога) (Слика 52). У зависности од тежине елемената, подизање и постављање на овај начин изведених елемената у коначан положај у оквиру објекта може подразумевати и употребу механизације, у зависности од тежине елемената.



Слика 51. Извођење фероцемента применом отворене оплате од готових фероцементних елемената. [Преузето са <http://www.atcdhaka.com/fero.html>, 15.2.2012]

Слика 52. Извођење фероцемента у систему отворене оплате реализоване обликовањем земљане подлоге. [Преузето са [http://www.naturalbuildingblog.com/?attachment\\_id=4820](http://www.naturalbuildingblog.com/?attachment_id=4820), 18.2.2012.]

Поред наведених техника, могућа је и примена метода где се фероцемент лије у равном сегментираним калуку и затим савија у жељени облик, ротирањем страна калука под жељеним углом. Могућа је и примена преса које обликују фероцемент у жељени облик. За производњу U, V и W набораних фероцементних елемената, могућа је и примена технике ливења трака фероцемента између којих се остављају траке без малтера (само са арматуром), које функционишу као зглобови током обликовања финалних елемената. Након очвршћавања малтера траке фероцемента се монтирају у коначни положај, односно формира се наборана површина и затим приступа монолитизацији структуре путем малтерисања углова.

Када су у питању визуелни аспекти у вези са начином извођења фероцементних конструкција, треба имати у виду да су фероцементне конструкције често видне у архитектонским просторима, обзиром да не захтевају посебну обраду или облагање. У том смислу, мора бити посвећена пажња начину извођења и у вези са тим визуелним својствима конструкције. Карактеристика фероцементних конструкција грађених на лицу места је њихова монолитност. У случају префабриковане градње спојнице између елемената мењају визуелни доживљај. Уколико је фероцемент видан, неуједначеност ливене малтерске смеше, односно њене површине и уочљиви прекиди малтерисања могу имати утицаја на визуелни доживљај површине. Површински недостаци могу бити последица избора оплате и механичких оштећења током израде. Грешке у извођењу могу резултирати различитошћу боје површине. Извођачке мрље су често изазване неодговарајућим избором или употребом материјала, недовољном стручношћу, неравномерним испаравањем и неравномерном негом. Употреба полиетиленских материјала за облагање површине може довести до неравномерне неге и обојености. Примена цемента различитих произвођача изазива варијацију боје, иако боја малтера највише зависи од агрегата. У том смислу, мора се посветити пажња набављању песка са једног места и његовом детаљном испирању. Пегавост може бити последица употребе високо-алкалног цемента, комбиновано са неравномерном негом.

### **3.4 Методе испитивања фероцемента**

Испитивања и посматрања која се уобичајено спроводе током пројектовања, изградње и радног века бетонских конструкција могу се применити и на конструкције од фероцемента. Она укључују: испитивања физичких, хемијских и механичких карактеристика компонентних материјала (чистоћа воде, методе просејавања, чврстоћа мреже, итд.); контролу карактеристика свежег малтера (слегане, садржај ваздуха, итд.); испитивање физичко-механичких карактеристика очврслог композита (чврстоћа на савијање, прслине, замор материјала, пропустљивост, смрзавање и одмрзавање, трајност итд.); испитивања у фази употребе (могућност појаве корозије, испрскалост, постојаност премаза, итд.).

Механичко понашање фероцемента је веома сложено обзиром на скоро неограничени број могућих варијација у величини, геометрији, методама

производње, оријентацији, граници течења и кидања арматурних мрежа, које могу бити коришћене у оквиру фероцемента. Препоручују се следећа испитивања за дефинисање механичких карактеристика: испитивање чврстоће на затезање арматурне мреже и одговор фероцементних елемената на оптерећење затезањем; испитивање чврстоће на притисак малтера; испитивање чврстоће на савијање фероцемента.

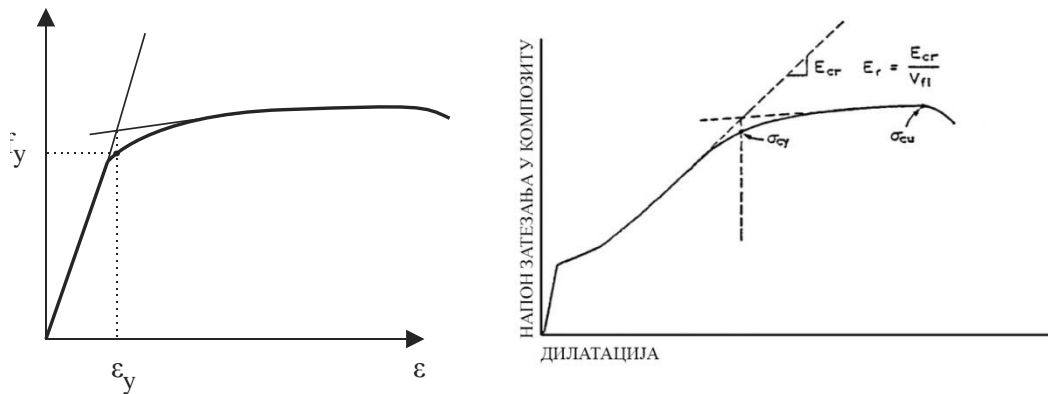
### **Испитивање чврстоће на затезање арматурне мреже и одговора фероцементних елемената на оптерећење затезањем**

Код квадратних и правоугаоних заварених челичних мрежа напон течења и модул еластичности могу бити одређени на основу директног испитивања на затезање узорак жице или равних исечака мреже, док шестоугаоне мреже и мреже добијене развлачењем, као и квадратне и правоугаоне плетене мреже, не могу бити испитиване ако нису у оквиру композита.<sup>358</sup> Напон течења челичне арматурне мреже се узима као пресек праволинијске апроксимације почетног дела криве напон-дилатација и праволинијске апроксимације зоне течења криве напон-дилатација (Слика 53).<sup>359</sup> Поједине арматурне мреже дају значајно различите одговоре напон-дилатација при оптерећивању у различитим правцима, тако да је за поједине случајеве примене, за које не постоје претходно изведене студије, потребно спровести испитивање на затезање у жељеном правцу.

---

<sup>358</sup> Naaman, „Tensile Tests of Ferrocement“, 693- 698; A. Nanni and R.F. Zollo, *Behavior of Ferrocement Reinforcement in Tension*, report No. 86-101, Department of Civil Engineering, University of Miami, 1986.

<sup>359</sup> Komisija za standarde iz oblasti Betonskih konstrukcija, *Tehnička preporuka za ferocement*, 36.



**Слика 53.** Напон течења челичне арматурне мреже  $f_y$ . [Извор: Комисија за стандарде из области Бетонских конструкција, *Техничка препорука за фероцемент: Фероцемент - Правила за пројектовање, извођење и одржавање* (Београд: Савезни завод за стандардизацију, 2002), 36]

**Слика 54.** Типична напонско-дилатацијска крива при затезању фероцементног елемента. [Извор: Комисија за стандарде из области Бетонских конструкција, *Техничка препорука за фероцемент: Фероцемент - Правила за пројектовање, извођење и одржавање* (Београд: Савезни завод за стандардизацију, 2002), 37]

На основу испитивања одговора фероцементних елемената на оптерећење затезањем, односно на основу дијаграма зависности напон-дилатација при затезању фероцементних елемената (Слика 54), одређује се ефективни модул еластичности мрежне арматуре  $E_r$ , напон у фероцементном композиту при течењу арматуре  $\sigma_{cy}$  и гранична чврстоћа  $\sigma_{cu}$ , као и фактор ефикасности  $\eta$ .<sup>360</sup> Ефективни модул еластичности  $E_r$  се добија као количник модула еластичности на почетку фазе течења мрежне арматуре ( $E_{cr}$  – модул испрског узорка) и запреминског удела арматуре у правцу дејства силе затезања ( $E_r = E_{cr}/V_{fl}$ ).  $E_r$  ефективни модул еластичности система за армирање посебно се утврђује из следећих разлога: модул еластичности мреже није исти као модул еластичности жице од којег је мрежа направљена;<sup>361</sup> при затезању плетена мрежа се развлачи више него заварена мрежа од жице истог пресека, односно плетена мрежа се понаша као да има мањи модул еластичности него челична жица од које је направљена; када је плетена мрежа уграђена у цементни малтер и тежи да се исправи услед затезања, цементни малтер спречава исправљање, што доводи до повећања крутости при затезању (слично понашање важи и за металне мреже добијене развлачењем и хексагоналне мреже). Вредности напона течења арматурних мрежа  $f_y$ , ефективног модула еластичности мрежне арматуре  $E_r$ , као и

<sup>360</sup> Комисија за стандарде из области Бетонских конструкција, *Техничка препорука за фероцемент*, 37.

<sup>361</sup> Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*, 37.



фактора ефикасности  $\eta$  (за лонгитудинални-L или трансверзални-T правац), за поједине типове челичних мрежа, могу се преузети директно из табела (**Табела 11** и **Табела 12**). Ове вредности је одредио Амерички институт за бетон на основу тестирања.<sup>362</sup> Уколико се користе мреже за које нису дате табеларне вредности  $E_r$  потребно је ефективни модул еластичности система за армирање одредити испитивањем.

**Табела 11-** Вредности напона течења и ефективних модула за челичне мреже и шипке препоручене за пројектовање

		Плетена квадратна жичана мрежа	Заварена квадратна жичана мрежа	Хекса-гонална жичана мрежа	Мреже добијене развлачењем
Напон течења $f_y$	МПа	450	450	310	310
Ефективни модул $E_r$	$(E_r)_L$ GPa	138	200	104	138
	$(E_r)_T$ GPa	165	200	69	69

[Извор: А.Е. Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites* (Ann Arbor: Techno Press 3000, 2000), 206]

**Табела 12 -** Фактори ефикасности за поједине типове челичних мрежа

		Плетена квадратна жичана мрежа	Заварена квадратна жичана мрежа	Хекса-гонална жичана мрежа	Мреже добијене развлачењем
Глобални фактор ефикасности $\eta_0$	L правац $\eta_L$	0.50	0.50	0.45	0.60
	T правац $\eta_T$	0.50	0.50	0.30	0.20
	$\theta = 45^\circ$ $\eta_\theta$	0.35	0.35	0.30	0.30

[Извор: А.Е. Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites* (Ann Arbor: Techno Press 3000, 2000), 206]

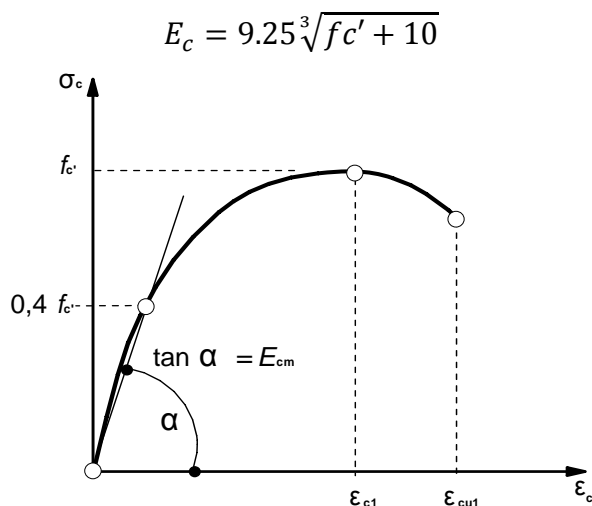
### **Испитивање чврстоће на притисак малтера**

Чврстоћа на притисак малтера мора бити утврђена на основу испитивања призми 4x4x16cm или коцки са дужином ивица 10cm.<sup>363</sup> Модул еластичности малтера  $E_c$  при притиску зависи примарно од карактеристичне чврстоће малтера при

<sup>362</sup> Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*, 206.

<sup>363</sup> Комисија за стандарде из области Бетонских конструкција, *Техничка препорука за ferrocement*, 35.

притиску  $f_c'$ , односно од марке малтера. Вредности модула еластичности малтера при притиску могу се добити на основу датог израза (који важи за класичан бетон) и важе од 0 до  $0.4f_c'$  (Слика 55). Вредност од  $0.4f_c'$  за дефинисање модула еластичности малтера (секантни модул  $E_{cm}$ ), је апроксимативна и зависи од својстава малтера.



Слика 55. Шематски приказ напонско-деформацијске криве. [Извор: EN 1992-1-1, 2004.]

На величину модула еластичности утичу следећи фактори: гранулометријски састав, количина цемента,  $v/c$  фактор, уградња и нега малтера и старост малтера.

### **Испитивање чврстоће на савијање фероцемента**

Узорак фероцемента треба да буде испитиван као проста греда оптерећена у трећинама распона. Препоручљиво је да однос распон-висина не буде мањи од 15 и да ширина не буде мања од 6 отвора мреже или растојања жица мерених управно на распон. Дебљина узорка треба да одговара дебљини у структури која се предвиђа за градњу. Утврђују се две карактеристичне вредности момената савијања, моменат савијања на граници течења арматуре и моменат савијања при лому узорка.

### 3.5 Пројектовање фероцементних конструкција према критеријуму носивости

Конструкције и конструкцијски елементи од фероцемента морају имати носивост у свим пресецима у складу са одредбама Правилника о техничким нормативима за бетон и армирани бетон (“Сл. лист СФРЈ”, 011/87). Прорачун пресека се врши према граничном стању носивости. Такође, треба да буде задовољен израз:<sup>364</sup>

$$S_u \leq \phi S_R$$

$$S_u = \sum \gamma_{ui} S_i = \gamma_{ug} S_g + \gamma_{up} S_p + \gamma_{u\Delta} S_{\Delta} \leq \phi S_R$$

$S_u$  - рачунска вредност статичког утицаја у пресеку, при граничном оптерећењу

$S_R$  - рачунска (номинална) носивост пресека ( $M_n, T_n, N_n$ )

$\phi$  - фактор редукције носивости (ACI 318)

„Пројектована носивост“ (ACI 318 – пропис С.9.3 – Пројектована носивост) конструктивних елемената односи се на номиналну носивост пресека  $S_R (M_n, T_n, N_n)$ , срачунату у складу са поступком дефинисаним у Правилнику о техничким нормативима за бетон и армирани бетон (“Сл. лист СФРЈ”, 011/87), помножену са фактором редукције  $\phi$ , који је увек мањи од 1. Сврха овог фактора редукције је да се узме у обзир следеће: недостаци везани за извођење, који се тичу варијација у чврстоћи материјала и димензијама; недостаци везани за прорачун, односно нетачност примењених једначина; процењени степен дуктилности елемената и захтевана поузданост при дејству оптерећења, у односу на значај елемента у конструкцији (за стубове се користи мањи  $\phi$  него за греде), при чему се генерално нижи фактори редукције користе за притиснуте елементе, јер их одликује мања дуктилност и већа осетљивост на варијације у чврстоћи малтера.<sup>365</sup>

Коришћење коефицијената сигурности развијених за класичан армирани бетон може водити значајном умањењу сигурности.<sup>366</sup> Код фероцементних конструкција, обзиром на малу дебљину попречног пресека, чак и мало одступање у изведеној дебљини може да води ка великим одступањима у вредностима стварних у односу на срачунате напоне. У том контексту коефицијенти сигурности за стално

---

<sup>364</sup> Комисија за стандарде из области Бетонских конструкција, *Техничка препорука за фероцемент*, 15.

<sup>365</sup> ACI Committee 318, *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary* (Farmington Hills: American Concrete Institute, 2008).

<sup>366</sup> Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*, 164.

оптерећење треба да буду већи у односу на класичан бетон. Такође, обзиром на значајно мањи однос сталног и покретног оптерећења у случају фероцементних конструкција, грешка у предвиђању покретног оптерећења може имати веће последице по сигурност. Из наведених разлога у оквиру Правилника за фероцемент, кога је издало Интернационално друштво за фероцемент, предложене су веће вредности коефицијената сигурности за фероцемент у односу на класичан армирани бетон.<sup>367</sup>

$$\begin{array}{ll} 2G + 1.4SG + 2P & 2G + 1.4SG + 2P + 1.7H \\ 0.75 (2G + 1.4SG + 2P + 1.7W) & 0.75 (2G + 1.4T + 2P) \\ 0.9G + 1.3W & 2G + 1.4T \end{array}$$

G – стално; SG – суперпонирано (преградни зидови исл.); P – покретно;  
W – ветар; H – притисак земље; T – температурно

### Носивост на затезање

Фероцемент одликује различито понашање при затезању у поређењу са класичним армираним бетоном због веће специфичне површине арматуре. Фероцемент се постепено адаптира на пораст оптерећења постепено се издужујући. Он доживљава велике деформације пре лома. Дуктилност фероцемента расте са порастом специфичне површине арматуре и запреминског удела арматуре.<sup>368</sup> Дуктилност фероцементних елемената се може повећати додавањем полиестерских влакана у малтерску смешу.<sup>369</sup>

Када је фероцементни елемент армиран челичним мрежама, изложен затезању, могу се уочити три карактеристичне области понашања (**Слика 56**). Током прве фазе фероцемент се понаша као хомоген материјал, све док се не појави прва прслина. Затим наступа фаза у којој се отварају многобројне fine прслине. Број прслина са порастом оптерећења расте, уз веома мали пораст њихове ширине, односно ширина прслина не расте пропорционално порасту оптерећења.<sup>370</sup> Број и ширина прслина у овој фази зависи од запреминског удела арматуре и њене специфичне површине. У трећој фази мреже почињу да се развлаче, при чему се

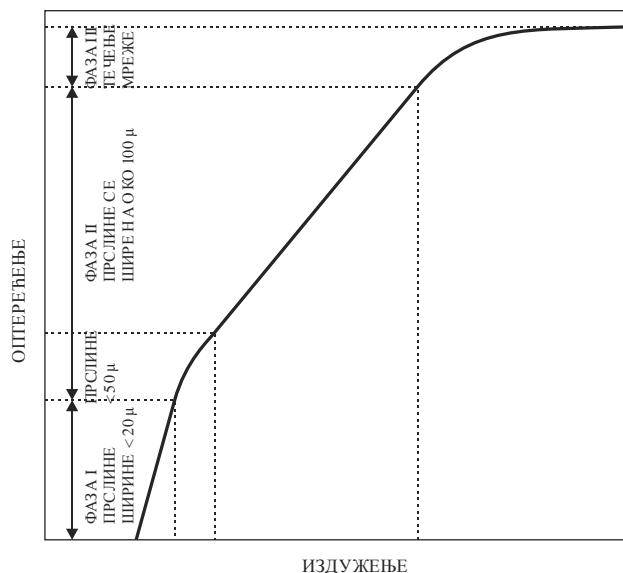
<sup>367</sup> IFS Committees 10, *Ferrocement Model Code*, 4.2-4.3.

<sup>368</sup> Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*, 23-24.

<sup>369</sup> Rajkumar, Rajkumar, and Sundararajan, „Ductility and energy absorption capacity of hybrid ferrocement hollow slabs subjected to cyclic loading“, 269-277.

<sup>370</sup> Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*, 32.

више не формирају нове прслине, већ се постојеће шире, након чега наступа кидање арматуре. Треба имати у виду да се појава прслина у фероцементним елементима јавља при значајно мањим напонима затезања од оних који одговарају напону течења арматуре. Појава прслина се одлаже са порастом процента армирања.



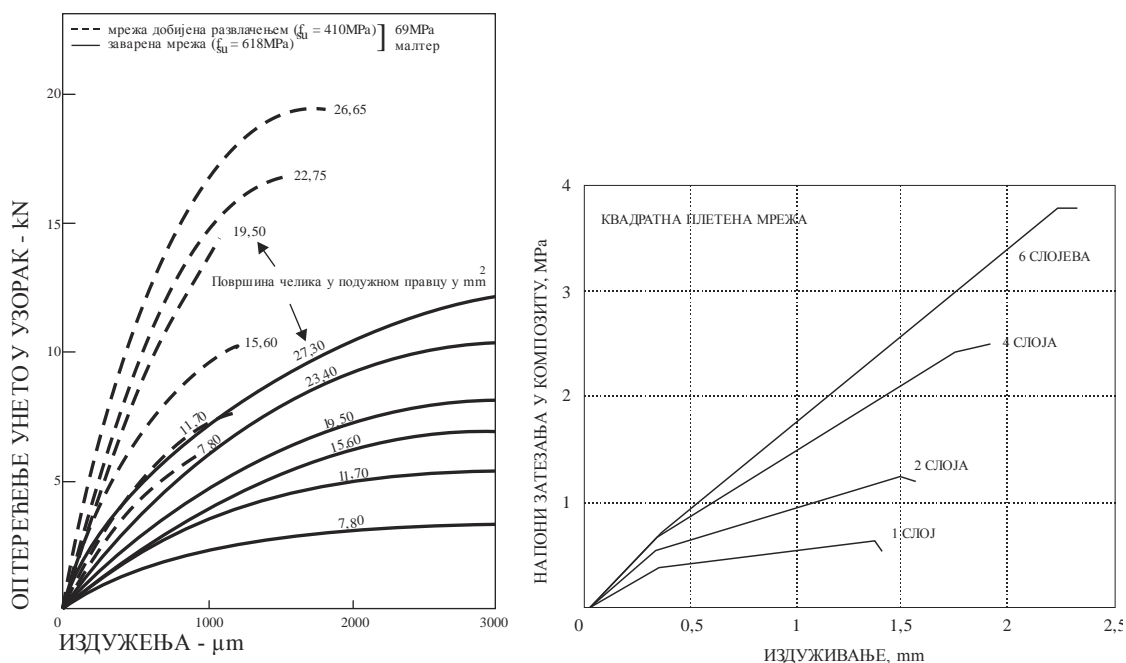
**Слика 56.** Типичне напонско-деформацијске криве при затезању фероцементног елемента, армираног челичним мрежама. [Извор: ACI Committee 549, *State-of-the-Art Report on Ferrocement, ACI 549R-97* (Farmington Hills: American Concrete Institute, 1997), 12]

Механичко понашање фероцемента је у великој мери условљено типом, квантитетом, оријентацијом и чврстоћом мрежа за армирање. Тип челичне мреже и њена оријентација утичу на модул еластичности композита при затезању и облик напонско-деформацијске криве. На приложеном дијаграму зависности оптерећење-издужење, јасно се уочава разлика у издужењу при лому за мреже добијене развлачењем и заварене мреже, која се јавља због разлике у дуктилности челика, али и разлике у крутости саме мреже (**Слика 57**).<sup>371</sup> Мали ефективни модули еластичности композита указују на велика издужења за дати напон, а тиме и шире прслине, обзиром на то да су прслине у директној вези са издужењима арматуре, те се за овакве типове мрежа очекује ранија појава одвајања малтера. У том случају се могу користити микровлакна у малтерској смеши како би се минимизовали наведени ефекти.

Носивост фероцемента при затезању је независна од дебљине елемента, обзиром на то да малтер пуца пре лома и непосредно пред лом не доприноси

<sup>371</sup> ACI Committee 549, *ACI 549R-97*, 13.

чврстоћи.<sup>372</sup> Чврстоћа на затезање је директно пропорционална броју слојева мреже, односно запреминском уделу арматуре. Издужење при лому је такође условљено запреминским уделом арматуре, али између пораста броја слојева мрежа и издужења не постоји директна пропорционалност (Слика 58).<sup>373</sup>



Слика 57. Дијаграм зависности оптерећење-издужење за мреже добијене развлачењем и заварене мреже. [Извор: ACI Committee 549, *State-of-the-Art Report on Ferrocement*, ACI 549R-97 (Farmington Hills: American Concrete Institute, 1997), 13]

Слика 58. Однос броја слојева мрежа и издужења композита. [Извор: А.Е. Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites* (Ann Arbor: Techno Press 3000, 2000), 34]

Једна од кључних карактеристика фeroцементa, која га разликује од класичног армираног бетона, је значајно већа специфична површина арматуре, за исти ред величине запреминског удела арматуре. Чврстоћа на затезање при првој прслини код фeroцементa директно је пропорционална специфичној површини арматуре.<sup>374</sup> За прву прслину, обзиром на претходну појаву бројних микро прслина у

<sup>372</sup> ACI Committee 549, *State-of-the-Art Report on Ferrocement*, ACI 549R-97 (Farmington Hills: American Concrete Institute, 1997).

<sup>373</sup> Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*, 34.

<sup>374</sup> R.N. Swamy and Y.B.I. Shaheen, „Tensile Behaviour of Thin Ferrocement Plates“, in *Proceedings of Thin-Section Fiber Reinforced Concrete and Ferrocement* (Detroit: American Concrete Institute, 1990); Somayaji and Naaman, „Stress-Strain Response and Cracking of Ferrocement in Tension“, 127-142; Arif, Pamkaj, and Kuasik, „Mechanical Behavior of Ferrocement Composites“, 301-312.

фероцементу, се узима прва структурална прслина, односно тренутак раздвајања малтера узорка на два независна дела.<sup>375</sup>

Прслине су код фероцемента, за исту вредност напона затезања у челику, један ред величина мање ширине и размака, у односу на класичан армирани бетон.<sup>376</sup> Мреже са мањим отворима воде ка мањој ширини прслина и обезбеђују ефикаснију употребу арматуре. Наведено може бити сагледано на приложеном дијаграму који илуструје утицај специфичне површине арматуре на напон при првој прслини, напон у тренутку стабилизације прслина (почетак течења арматуре), максимално издужење композита и просечан размак и ширину прслина (Слика 59).



Слика 59. Утицај специфичне површине арматуре на особине фероцемента. [Извор: А.Е. Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites* (Ann Arbor: Techno Press 3000, 2000), 36]

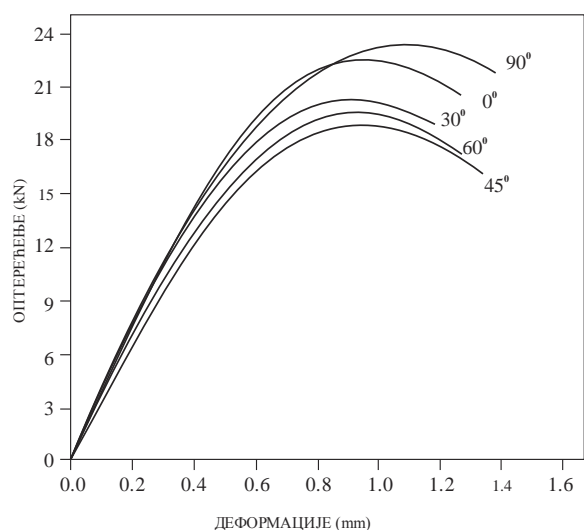
Чврстоћа на затезање фероцемента зависи од оријентације арматурних мрежа и од тога да ли је нането оптерећење једнооксијално или двооксијално, обзиром на промену запреминског удела арматуре у правцу дејства силе.<sup>377</sup> Композит са оријентацијом мреже под  $45^{\circ}$  показује најслабије перформансе, обзиром на то да се за дати угао јавља најмањи запремински удео арматуре, при чему се ствара ефекат налик дејству маказа на малтер, изазивајући ранију појаву прслина.<sup>378</sup> Дати дијаграм показује ефекат оријентације мрежа на носивост фероцемента при затезању (Слика 60).

<sup>375</sup> Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*, 33.

<sup>376</sup> Shah & Naaman, „Crack Control in Ferrocement and its Comparison with Reinforced Concrete“, 67-80.

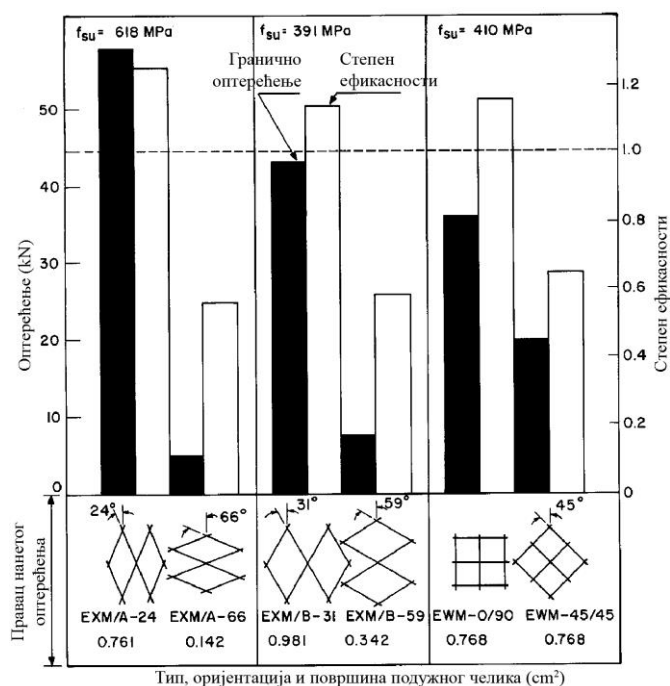
<sup>377</sup> Arif, Pamkaj, and Kuasik, „Mechanical Behavior of Ferrocement Composites“, 301-312; Abdullah and Mansur, „Effect of Mesh Orientation on Tensile Response of Ferrocement“, 289-298.

<sup>378</sup> Abdullah and Mansur, „Effect of Mesh Orientation on Tensile Response of Ferrocement“, 294.



**Слика 60.** Дијаграми зависности оптерећење-издужење при затезању фероцементних узорка армираних завареним челичним мрежама различите оријентације. [Извор: М. Arif, Pamkaj and S.K. Kuasik, „Mechanical Behavior of Ferrocement Composites: An Experimental Investigation“, *Cement and Concrete Composites* 21, no.4 (1999): 301-312]

Дати графикон показује утицај оријентације мрежа на носивост фероцемента при затезању, али уједно приказује и односе степена ефикасности (чврстоћа фероцемента према ефективној површини и чврстоћи арматуре), за мреже добијене развлачењем (ЕХМ) и електрозаварене квадратне жичане мреже (ЕВМ) (Слика 61).



**Слика 61.** Утицај оријентације мрежа на носивост фероцемента при затезању и односи степена ефикасности. [Извор: ACI Committee 549, *State-of-the-Art Report on Ferrocement*, ACI 549R-97 (Farmington Hills: American Concrete Institute, 1997), 8]



Ефекат оријентације мреже на носивост на затезање је најизраженији у случају мрежа добијених развлачењем или хексагоналних мрежа.<sup>379</sup>

Номинална носивост испрсколог фeroцементног елемента оптерећеног на чисто затезање може се апроксимирати само са носивошћу мрежасте арматуре у правцу деловања оптерећења, при чему је:

$$N_{nz} = A_s f_y$$

$N_{nz}$  - номинална носивост на затезање у посматраном правцу

$A_s$  - ефективна површина арматуре у посматраном правцу

$f_y$  - напон течења мрежасте арматуре

Услов је да рачунска вредност статичког утицаја у пресеку, при граничном оптерећењу буде:

$$S_u \leq \phi S_R$$

$$S_u \leq \phi N_{nz}$$

$$S_u \leq 0.9 N_{nz}$$

За затезну чврстоћу челика, мреже за армирање или шипки арматуре, узима се граница развлачења, односно напон течења  $f_y$ , која не сме да прелази 690МПа. Тако висока граница течења је оправдана за фeroцемент због великог присуства арматуре, дуктилности и врло мале ширине прелина, што је последица велике специфичне површине арматуре и блиско постављене арматуре. Препоручене вредности напона течења арматуре дате су у **Табела 11**.

Вредност  $A_s$  је дата са:

$$A_s = \sum_{i=1}^N A_{si}$$

$N$  - број слојева мрежа

$A_{si}$  - ефективна површина слоја  $i$  мрежасте арматуре

Вредност  $A_{si}$ , односно ефективна површина слоја  $i$  мрежасте арматуре, може се одредити из следећег израза:

$$A_{si} = \eta V_{fi} A_c$$

$A_{si}$  - ефективна површина слоја  $i$  мрежасте арматуре

$\eta$  - глобални фактор ефикасности мрежасте арматуре у правцу који се разматра

$V_{fi}$  - запремински удео арматуре за слој мреже и

$A_c$  - укупна површина попречног пресека малтера (бетона)

<sup>379</sup> Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*, 49.

Вредности глобалног фактора ефикасности мрежасте арматуре  $\eta_0$ , за типове арматуре који су најчешће у употреби, дате су у **Табела 12**.

Запремински удео арматуре за слој мреже  $i$ ,  $V_{fi}$ , је количник запреминског удела арматуре  $V_f$  и броја слојева мрежасте арматуре  $N$ :

$$V_{fi} = V_f / N$$

Запремински удео арматуре  $V_f$  је количник укупне запремина арматуре  $V_m$  и запремине композита  $V_c$  (арматуре и малтера).

$$V_f = \frac{V_m}{V_c}$$

$$V_c = \gamma_m h \times \text{површина}$$

$$V_m = N W_m \times \text{површина}$$

$\gamma_m$  - густина (запреминска маса) материјала

$W_m$  - тежина мреже по јединици површине

За композит армиран са мрежом са квадратним отворима,  $V_f$  се једнако дели на  $V_{fl}$  и  $V_{ft}$  за лонгитудинални (подужни) и трансверзални (попречни) правац, редом. За остале типове арматуре, као што је развучена метална мрежа,  $V_{fl}$  и  $V_{ft}$  могу бити различите.

$$V_f = V_{fl} + V_{ft}$$

Допринос влакана додатих малтеру може се узети у обзир у прорачуну специфичне површине арматуре  $S_r$ , али се може занемарити у прорачуну запреминског удела арматуре.

Наман предлаже следећи израз за модул еластичности неиспркалог фeroцементa при затезању:<sup>380</sup>

$$E_{uncr} = E_m V_m + E_r V_{fl}$$

$E_m$  – модул еластичности малтера при затезању

$V_m$  – запремински удео малтера

$E_r$  – ефективни модул еластичности система за армирање

$V_{fl}$  – запремински удео арматуре за правац оптерећивања

<sup>380</sup> Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*, 51.

Модул еластичности испрсколог композита зависи од бројних параметара укључујући запремински удео арматуре и ниво испрсколости композита.<sup>381</sup> За модул еластичности испрсколог композита Наман предлаже следећу апроксимацију:

$$E_{cr} = (E_m V_m + E_r V_{fl}) / \lambda$$

$$\lambda = 2-3 \text{ (3 за мали запремински удео арматуре)}$$

За примену код већих распона и за производњу великих серија елемената, Наман препоручује да се модул еластичности за испрсколи фeroцемент одреди на основу експерименталних истраживања.

### **Носивост на притисак**

Номинална носивост фeroцементних пресека оптерећених на једнооксијални притисак, по закону суперпозиције, добија се на основу израза у коме се суперпонирају носивост на притисак неармираног малтера и носивости на притисак мрежне арматуре:

$$N_{np} = A_c 0,7f'_c + A_s f_q$$

$N_{np}$  - номинална носивост на притисак у посматраном правцу

$A_c$  - укупна површина попречног пресека малтера

$f'_c$  - карактеристична чврстоћа малтера при притиску – марка малтера ( $f'_c - f_{bk}$ )

$A_s$  - ефективна површина арматуре у посматраном правцу

$f_q$  - напон гњечења мрежасте арматуре (за прорачун се узима да је  $f_q = f_y$ )

Стандардна чврстоћа малтера при притиску који се примењује за израду фeroцементa је у распону од 30-70 МПа.

У оквиру истраживања понашања фeroцементa при притиску, показало се да у појединим случајевима носивост фeroцементa на притисак може бити мања од носивости малтера без мрежне арматуре, због појаве раслојавања, односно раздвајања малтера услед попречних напона затезања, као и због појаве извијања мрежне арматуре при притиску.<sup>382</sup> Истраживање је указало на неефикасност додавања слојева мреже у случају притиснутих елемената и на потребу за детаљном анализом ефеката лома услед одвајања мрежа.<sup>383</sup> Утврђено је да повећање броја слојева мрежа са једног на два доприноси повећању носивости композита, али да се

<sup>381</sup> Ibid., 52.

<sup>382</sup> Mansur and Abdullah, „Constitutive Laws of Ferrocement under Biaxial Tension-Compression“, 28-34.

<sup>383</sup> Hossainan and Inoue, „A Comparison of the Mechanical Properties of Ferrocement Elements under Compression for Square and Chicken Meshes“, 319-343.

са даљим повећањем броја слојева овај ефекат губи. Изведен је закључак да код притиснутих фероцементних елемената број слојева мрежа треба држати на минимуму.<sup>384</sup> Наведени негативни ефекти могу бити редуковани увезивањем мрежа у тродимензионалне пакете.<sup>385</sup>

Према Абруцезеу, модул еластичности неиспрскалог фероцемента при притиску, може се апроксимирати на основу концепта хомогенизације композитног материјала, обзиром на то да је арматура густо и равномерно распоређена по попречном пресеку.<sup>386</sup> Он предлаже следећи израз:

$$E_{\text{uncr}} = E_m V_m + E_r V_f \eta$$

Када је у питању носивост на притисак битно је имати у виду да на њу утиче и тип мрежа и њихова оријентација (45° према 90°). Мреже добијене развлачењем или хексагоналне мреже су мање ефективне од исто оријентисаних мрежа са квадратним отворима.<sup>387</sup> Мреже под углом од 45° су мање ефективне од оних које се поклапају са правцем оптерећења.<sup>388</sup>

Са друге стране, ошупљени профили армирани мрежама показују већу чврстоћу при притиску, што се приписује доприносу мреже сличном доприносу спиралне арматуре носивости притиснутих бетонских елемената.<sup>389</sup> На основу овог својства, фероцемент се ефективно примењује у ојачавању армиранобетонских притиснутих стубова.

Када је у питању носивост на притисак, услов је да рачунска вредност статичког утицаја у пресеку, при граничном оптерећењу буде:

$$S_u \leq \phi S_R$$

$$S_u \leq \phi N_{np}$$

$$S_u \leq 0.7 N_{np}$$

---

<sup>384</sup> S.R. Sumadi and M.Ramli, *Development of Lightweight Ferrocement Sandwich Panels for Modular Housing and Industrialized Building System* (Project Report) (Skudai, Malaysia: Faculty of Civil Engineering, 2008).

<sup>385</sup> Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*, 65.

<sup>386</sup> Abuzzese, „Model for Ferrocement Thin Walled Structures“, 275.

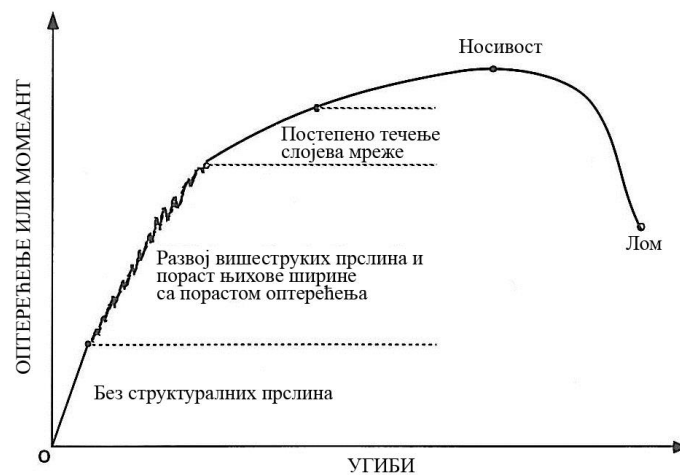
<sup>387</sup> Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*, 65.

<sup>388</sup> ACI Committee 549, *State-of-the-Art Report on Ferrocement, ACI 549R-97* (Farmington Hills: American Concrete Institute, 1997).

<sup>389</sup> Beton i armirani beton 87 - 1 Priručnik (Beograd: Gradevinska Knjiga, 1991).

## Носивост на савијање

Савијање рефлектује комбиноване утицаје параметара који контролишу особине фероцемента при притиску и затезању. Налик понашању при затезању, фероцемент одликује посебно понашање и у случају савијања, у односу на класичан армирани бетон. Понашање фероцемента при савијању одликују три фазе: фаза пре појаве прелина, фаза вишеструких прелина чија ширина расте са порастом оптерећења, као и фаза након појаве вишеструких прелина, где наступа течење арматуре (Слика 62).<sup>390</sup> Намаан наведеном додаје још и фазу након течења арматуре, где се исцрпљује њена носивост и наступа лом екстремног слоја мреже, уколико претходно не дође до лома у малтеру у притиснутој зони.



Слика 62. Дијаграм зависности оптерећење-угиби при савијању фероцемента. [Извор: А.Е. Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites* (Ann Arbor: Techno Press 3000, 2000), 53]

Висина попречног пресека има мало утицаја на носивост фероцемента при савијању, супротно ономе што би се очекивало на основу аналитичких принципа.<sup>391</sup> Истраживања указују на то и да сама чврстоћа малтера при притиску има релативно мали утицај на носивост фероцемента при савијању. Уколико је све остало исто, пораст чврстоће малтера при притиску од 80% води ка порасту носивости на савијање од само 11%.<sup>392</sup>

Са друге стране, тип, геометрија, оријентација и количина арматурних мрежа, заједно са њиховом позицијом у односу на неутралну осу и њиховим међусобним

<sup>390</sup> Paramasivam, Ong, and Lee, „Ferrocement Structures and Structural Elements“, 289-330.

<sup>391</sup> Johnston and Mowat, „Ferrocement-Material Behaviour in Flexure“, 2053-2069.

<sup>392</sup> Montesinos and Naaman, „Parametric Evaluation of the Bending Response of Ferrocement and Hybrid Composites with FRP Reinforcements“, 346-349.

распоредом, су фактори који у највећој мери утичу на чврстоћу фероцемента на савијање.<sup>393</sup> Елементи армирани хексагоналним мрежама показују најслабије перформансе при савијању. Фероцементни елементи армирани са мрежама добијеним развлачењем или завареним мрежама, имају већу носивост од елемената армираних плетеним мрежама, за исту површину арматуре.<sup>394</sup> АСІ комитет 549 указује на то да различите мреже показују различити ниво слабости у различитим правцима, па је због тога оријентација мреже посебно значајна када је у питању чврстоћа на двоаксијална напрезања. Мреже добијене развлачењем имају значајно мању носивост у трансверзалном правцу. Заварене мреже имају исту носивост у лонгитудиналном и трансверзалном правцу, али су слабе под углом од 45°. <sup>395</sup> Ипак, армирање мрежама са истом количином арматуре у два правца, за разлику од класичног армираног бетона где је доминантна арматура у правцу дејства оптерећења, у одређеној мери доприноси додатној носивости када је у питању савијање фероцементних елемената.<sup>396</sup>

Чврстоћа и деформације фероцементних елемената при савијању су условљени превасходно напоном течења у арматури и запреминским уделом арматуре у правцу дејства оптерећења.<sup>397</sup> Пораст количине арматуре доприноси носивости фероцемента на савијање, али пораст специфичне површине арматуре нема тако изражен ефекат на носивост као у случају затезања. Пораст специфичне површине арматуре нема ни велики утицај на прслине, као што је то случај код затезања. Просечна ширина прслина код фероцементних елемената изложених савијању примарно је функција издужења најудаљенијег затегнутог слоја мреже и размака жица мреже у трансверзалном правцу.<sup>398</sup>

При савијању фероцементни елементи показују пун развој прслина већ при раним фазама оптерећивања, од 30-50% оптерећења при лому.<sup>399</sup> Оптерећење при стабилизацији прслина и појави течења арматуре варира од 45-65% оптерећења при

---

<sup>393</sup> Johnston and Mowat, „Ferrocement-Material Behaviour in Flexure“, 2053-2069.

<sup>394</sup> Alwash, „Flexural Behaviour of Ferrocement“, 23.

<sup>395</sup> Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*, 60.

<sup>396</sup> Ibid., 59.

<sup>397</sup> Alwash, „Flexural Behaviour of Ferrocement“, 201-202.

<sup>398</sup> Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*, 59.

<sup>399</sup> Alwash, „Flexural Behaviour of Ferrocement“, 97.

лому.<sup>400</sup> Међутим, ширина прслина је мања и прслине су равномерније распоређене, него у случају класичног армираног бетона, обзиром на већу специфичну површину арматуре и распоред арматуре по пресеку.<sup>401</sup> За исто издужење најудаљенијег влакна, максимална ширина прслина у случају класичног армираног бетона је 4 до 5 пута већа него код фероцемента.<sup>402</sup>

Повећањем броја мрежа повећава се носивост на савијање фероцемента, али то није ефикасан начин да се повећа напон у елементу пре појаве лома при савијању. Када је у питању оптималан распоред мрежа, Наман констатује да је, без обзира што су најефикаснији слојеви мрежа они уз затегнуту ивицу композита, свеукупно понашање композита боље када су слојеви мреже равномерно распоређени по дебљини елемента<sup>403</sup>. У том случају расте апсолутна чврстоћа и степен ефикасности композита, због унапређене носивости на смицање у равни, односно касније појаве раслојавања услед смицања слојева. У том контексту, у случају фероцемента, за разлику од класичног армираног бетона, равномерни распоред слојева мреже у оквиру композита даје већу апсолутну чврстоћу на савијање (**Слика 63**).<sup>404</sup>

---

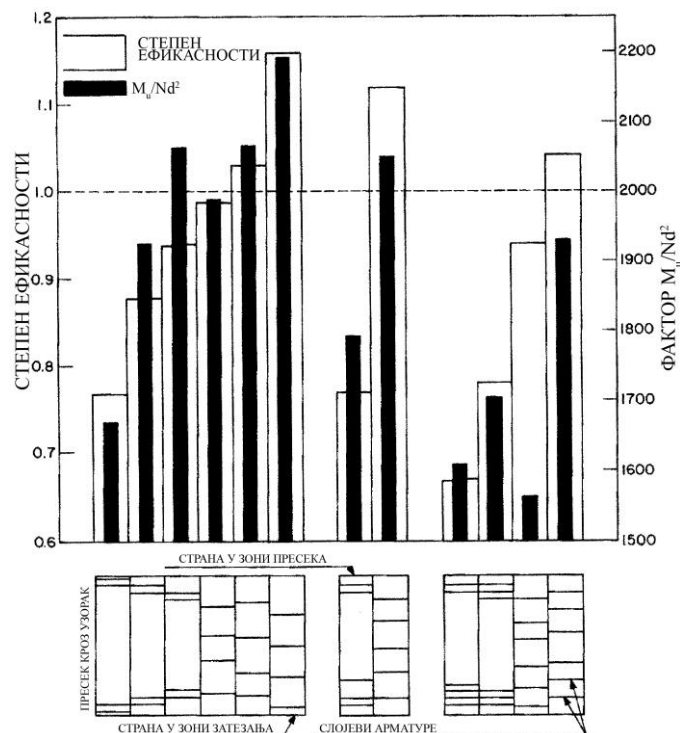
<sup>400</sup> Ibid., 201.

<sup>401</sup> Onet, Magureanu, and Vescan, „Aspects Concerning the Behavior of Ferrocement in Flexure“, 1-9.

<sup>402</sup> Alwash, „Flexural Behaviour of Ferrocement“, 103.

<sup>403</sup> Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*, 59.

<sup>404</sup> Johnston and Mowat, „Ferrocement-Material Behaviour in Flexure“, 2053-2069.



**Слика 63.** Ефекат распореда слојева арматурних мрежа на понашање композита при савијању и степен ефикасности;  $N$  је број слојева мреже и  $d$  је дебљина композита. [Извор: R.P. Pama, C. Sutharatnachaiyarorn, and S.L. Lee „Rigidities and Strength of Ferrocement“, in *Proceedings of the First Australian Conference on Engineering Materials*, 287-308 (Sydney: University of New South Wales, 1974). Quoted in ACI Committee 549, *State-of-the-Art Report on Ferrocement*, ACI 549R-97 (Farmington Hills: American Concrete Institute, 1997), 10]

У случају савијања фероцементних плоча угиби најчешће превазилазе критеријуме употребљивости пре него ширина прелина. У том смислу, вредност угиба је примарни критеријум за основно оптерећење. Како би се задовољио критеријум угиба, основно оптерећење треба да буде 15-30% оптерећења при лому.<sup>405</sup> Како би се превазишло наведено, крутост фероцементних елемената треба да се заснива на форми, а не на кумулацији материјала. Такође, имајући у виду понашање танких фероцементних плоча при савијању, обликовањем конструкције потребно је у што већој мери избећи појаву момената савијања. “Идеална фероцементна љуска је она љуска која је углавном изложена дејству мембранских сила и у што мањој мери напрегнута на савијање, при различитим условима оптерећења”.<sup>406</sup>

Постоје покушаји да се носивост на савијање танких фероцементних елемената повећа унапређењем перформанси компонентних материјала. Намањ је за

<sup>405</sup> Alwash, „Flexural Behaviour of Ferrocement“, 243.

<sup>406</sup> Wieland, „Analyses and design of shell structures“. Quoted in Hammer, „Optimization of dome housing in Sri Lanka“, 57.

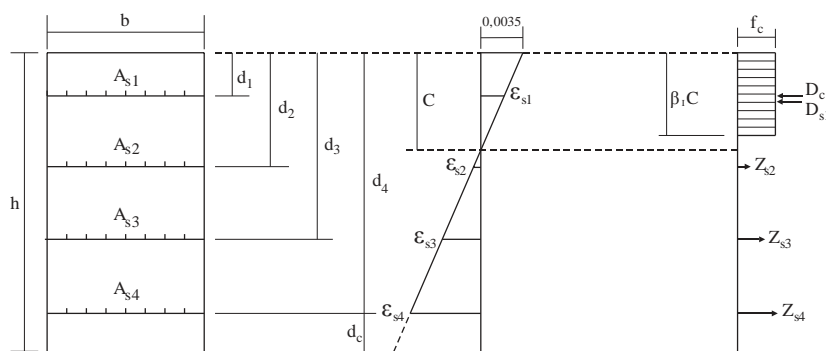


израду фeroцементa применио мреже високе затезне чврстоће и малтер високе чврстоће на притисак, чиме је унапређена носивост на савијање фeroцементa. Ипак, уочено је да примена арматуре високе затезне чврстоће може за последицу да има раслојавање слојева, извијање мрежа у притиснутој зони и лом у притиснутој зони по малтеру, пре него што се достигне напон течења у затегнутој арматури.<sup>407</sup>

Повећање крутости фeroцементних елемената, односно смањење угиба при савијању могуће је остварити додавањем полимера у мешавину.<sup>408</sup>

Како би се контролисали угиби фeroцементних елемената могућа је и примена арматуре претходно напрегнуте на затезање. На овај начин могу се постићи већи распони уз редукацију броја слојева мрежне арматуре. У том случају, ширина прслина постаје примарни параметар при пројектовању уместо критеријума угиба. Треба посветити посебну пажњу зони анкеровања преднапрегнуте арматуре, обзиром на мале дебљине елемената, са циљем равномерног преноса силе кроз елемент. У спроведеном истраживању исплативости и ефективности примене преднапрезања код фeroцементних кутијастих гредних елемената, чак и након прскања анкерне зоне, елементи су издржали значајно оптерећење.<sup>409</sup>

При одређивању номиналне носивости фeroцементних пресека оптерећених на савијање, дијаграм напона за притиснути бетон парабола–права, може се заменити поједностављеним дијаграмом напона у облику правоугаоника (Слика 64).<sup>410</sup>



**Слика 64.** Дијаграм дилатација и поједностављени дијаграм напона попречног пресека елемента од фeroцементa оптерећеног на савијање. [Извор: Комисија за стандарде из области Бетонских конструкција, *Техничка препорука за фeroцемент: Фeroцемент - Правила за пројектовање, извођење и одржавање* (Београд: Савезни завод за стандардизацију, 2002), 14]

<sup>407</sup> Wille and Naaman, „Preliminary Investigation on Ultra-High Performance Ferrocement“, 251 – 260.

<sup>408</sup> Sheela and Ganesan, „Flexural behaviour of polymer modified ferrocement elements“, 541-558.

<sup>409</sup> Kumar, Bhandari, and Kaushik, „Study on feasibility and effectiveness of prestressing in ferrocement box girder elements“, 229-248.

<sup>410</sup> Комисија за стандарде из области бетонских конструкција, *Техничка препорука за фeroцемент*, 14.

Прорачун попречних пресека од фeroцементa напругнутих на савијање, одговара прорачуну армиранобетонских попречних пресека неправилног облика притиснуте зоне, који имају више слојева арматуре, у оквиру кога се одређује номинална носивост на савијање  $M_n$ .<sup>411</sup> Основне претпоставке у прорачуну су да малтер не носи на затезање, као и да је остварено идеално пријањање између малтера и челика. Претпоставка је и да су дилатације у арматури и малтеру директно пропорционалне растојању од неутралне осе. Претпоставља се да је максимална дилатација у најудаљенијем притиснутом влакну малтера 3,5%.<sup>412</sup>

Тип арматуре, њена оријентација, размак и геометрија слојева арматуре, јединствени код фeroцементa, морају се узети у обзир.<sup>413</sup>

Напон у арматури мањи од специфицираног напона течења  $f_y$  мора се узети као производ ефективног модула еластичности система за армирање  $E_r$  и дилатације у арматури. За дилатације веће од дилатација које одговарају напону  $f_y$ , напон у арматури мора се узети независно од дилатације и једнак је  $f_y$ .

Услов је да рачунска вредност статичког утицаја у пресеку, при граничном оптерећењу буде:

$$S_u \leq \phi M_n$$

$$S_u \leq 0.9 M_n$$

### **Носивост на смицање**

Постоји врло мало података о носивости на смицање фeroцементних плоча, укључујући и носивост на смицање при савијању, између осталог зато што лом услед смицања није карактеристичан за елементе чији је однос распон/дебљина велики и где лом пре долази услед момената савијања, а не трансверзалних сила. Као и у случају армиранобетонских плоча и љуски, фeroцемент нема ни посебно предвиђену арматуру за прихватање смичућих сила, у виду узенгија или косо повијене арматура, осим веза које везују слојеве мрежа.

Са порастом запреминског удела мрежне арматуре, оствареним кроз пораст броја слојева мрежа, расте носивост фeroцементних плоча на смицање при

---

<sup>411</sup> Beton i armirani beton 87 - 1 Priručnik, 213-217; Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*, 137-140.

<sup>412</sup> Komisija za standarde iz oblasti betonskih konstrukcija, *Tehnička preporuka za ferocement*, 15.

<sup>413</sup> Paramasivam, Ong, and Lee, „Ferrocement Structures and Structural Elements“, 298.

савијању.<sup>414</sup> Утврђено је и да са порастом односа распона према дебљини плоче, за однос већи од 3, постаје доминантан утицај момента савијања, односно димензионисање елемената се заснива само на утицајима савијања.

Као и у случају фероцементних плоча и у случају правоугаоних фероцементних греда показано је да је смицање доминантно само за мале односе распона према висини греде, а да је за веће односе доминантан утицај момената савијања.<sup>415</sup> За однос распона према висини већи од 6, код фероцементних греда изложених савијању, лом је наступио након течења арматуре у затегнутој зони на месту максималног момента. Без обзира на појаву дијагоналних прслина, носивост греде није била условљена трансверзалном силом. Показано је да лом услед смицања код фероцементних греда I попречног пресека наступа само у случају малих односа распона према висини, односа мањих од 1.5, док изнад ове вредности лом наступа услед савијања.<sup>416</sup> Тестирање фероцементних греда U и I профила је показало да се лом услед смицања јавља за односе распона према висини греде мање од 2 и то за мали запремински удео арматуре (2 мреже).<sup>417</sup> У случају ошупљених фероцементних греда, лом услед смицања попречних пресека је могућ код односа распона према висини испод 1.5, док се код греда T пресека јавља за однос мањи од 2. За греде са малим односом распона према висини, лом при смицању почиње дијагоналним прслинама, које настају услед затезања у тој зони, и наставља се са ломом и отпадањем малтера. Носивост на смицање расте са порастом запреминског удела арматуре, путем повећања броја слојева мреже, док је ефекат чврстоће малтера маргиналан.<sup>418</sup>

Фероцементне греде одликује одлична контрола прслина при смицању услед савијања.<sup>419</sup> За разлику од класичних армиранобетонских греда, код фероцементних греда се услед смицања јављају бројне мање прслине.

Греде које доживљавају лом услед савијања показују велику дуктилност пре колапса, док греде са мањим односом распона према висини, које доживљавају лом

---

<sup>414</sup> Chandrasekhar and Gunneswara, „An Appraisal of the Shear Resistance of Ferrocement Elements“, 591-602.

<sup>415</sup> Mansur, & Ong, „Shear Strength of Ferrocement Beams“, 10-17.

<sup>416</sup> Mansur, & Ong, „Shear Strength of Ferrocement I-Beams“, 458-464.

<sup>417</sup> Tian, Mandal, and Nedwell, „Shear behavior of ferrocement beams: experimental and fem study“, 261-268.

<sup>418</sup> Mansur, & Kiritharan, „Shear Strength of Ferrocement Structural Sections“, 195-211.

<sup>419</sup> Ibid.

услед смицања, дају мало знакова о предстојећем лому осим формације великог броја дијагоналних прслина и занемарљивог пластичног понашања након вишеструког прскања.<sup>420</sup>

За максимални напон смицања у случају фероцемента Наман предлаже следећи израз, који важи и за класични армирани бетон:

$$v_{uc} = 0.17 \sqrt{f_c'}$$

Са порастом запреминског удела арматуре код фероцементних греда расте и њихова носивост на смицање. Равномерно присуство арматуре по висини греде доприноси носивости на смицање, смањујући ширину прслина. Изрази за носивост при смицању који се користе за класичне армиранобетонске греде, потцењују носивост на смицање фероцементних греда. У том смислу, потребно је развијање формула јединствених за фероцемент.<sup>421</sup>

Услов је да рачунска вредност статичког утицаја у пресеку, при граничном оптерећењу буде:

$$S_u \leq 0.85 T_n$$

### **3.6 Пројектовање фероцементних конструкција према критеријуму употребљивости**

Елементи и конструкције од фероцемента морају да задовоље захтеве употребљивости према Правилнику о техничким нормативима за бетон и армирани бетон ("Sl. list SFRJ", 011/87), изузев по питању дебљине заштитног слоја.

Једна од највећих предности фероцемента је његово понашање по питању прслина. При истом оптерећењу јавља се већи број мањих прслина, на мањем размаку у поређењу са класичним армираним бетоном. Генерално, понашање фероцемента по питању прслина при савијању, слично је понашању по питању прслина при затезању.<sup>422</sup> Понашање по питању прслина одликују две фазе. У првој фази, након појаве прве прслине долази до појаве великог броја финих прслина током пораста оптерећења. Нове прслине се отварају све док не дође до границе засићења. Након засићења наступа друга фаза у којој расте ширина постојећих

---

<sup>420</sup> Al-Sulaimani and Basunbal, „Behaviour of Ferrocement under Direct Shear“, 109-117.

<sup>421</sup> Al-Sulaimani, Basunbul, and Mousselhy, „Shear behavior of ferrocement box beams“, 29–36.

<sup>422</sup> Walkus, „The Behaviour of Ferrocement in Bending“, 113-125.

прслина. На обе наведене фазе утичу пре свега особине мрежне арматуре, геометрија мрежа, пре свега положај и размак трансверзалних жица, затим њихова дуктилност, као и количина мрежне арматуре.<sup>423</sup> Поред количине, на ширину и размак прслина утиче и специфична површина арматуре, као мера површине пријањања арматуре.<sup>424</sup> Са порастом специфичне површине арматуре смањује се ширина прслина и њихов размак.<sup>425</sup> Поред површине пријањања, на ширину и размак прслина утиче и укупни напон пријањања.<sup>426</sup> У том смислу, пораст специфичне површине арматуре даје бољу контролу прслина при затезању, него при савијању. Тестови су указали на то да не постоји јасна веза између специфичне површине арматуре и понашања по питању прслина при савијању фероцементних елемената. На ширину прслина је примарно утицао ниво издужења слоја мреже најближег затегнутој ивици композита, као и размак трансверзалних жица, обзиром на то да се позиција трансверзалних жица најчешће поклапа са позицијом прслина.<sup>427</sup> Већа дуктилност мрежа води ка развоју ширих прслина, а већи размак трансверзалних жица резултира мањим бројем ширих прслина.<sup>428</sup> Различити типови мрежа резултирају различитим понашањем када су у питању прслине.

Ширине прслина при затезању фероцементних елемената могу се измерити из експерименталних резултата или се њихове вредности могу израчунати помоћу приложених једначина. Према датим једначинама, максимална ширина прслина код елемената изложених затезању  $W_{max}$  (mm) зависи од напона у арматури  $\sigma_r$  (MPa), специфичне површине арматуре у правцу дејства оптерећења  $S_{rL}$  (cm<sup>-1</sup>) и од ефективног модула еластичности система за армирање  $E_r$  (MPa).<sup>429</sup>

$$\text{За } \sigma_r \leq 345 S_{rL}:$$

$$W_{max} = \frac{35000}{E_r}$$

<sup>423</sup> Walkus, „The Behaviour of Ferrocement in Bending“, 113-125; Naaman, „Design Prediction of Crack Width in Ferrocement“, 25-42.

<sup>424</sup> Naaman and Shah, „Tensile Tests of Ferrocement“, 693- 698.

<sup>425</sup> Walkus, „The Behaviour of Ferrocement in Bending“, 113-125.

<sup>426</sup> G.K. Nathan and P. Paramasivam, „Mechanical Properties of Ferrocement Material“, in *Proceedings of First Australian Conference on Engineering Materials* (Kensington: University of New South Wales, 1974).

<sup>427</sup> Naaman, „Design Prediction of Crack Width in Ferrocement“, 25-42; Balaguru, Naaman, and Shah, „Analysis and Behaviour of Ferrocement in Flexure“, 1937-1951.

<sup>428</sup> Naaman, „Design Prediction of Crack Width in Ferrocement“, 25-42.

<sup>429</sup> IFS Committees 10, *Ferrocement Model Code*, 4.8.

За  $\sigma_r > 345 S_{rL}$ , али мање од напона течења:

$$W_{max} = [175 + 3.69(S_{rL} - 345S_{rL})] \frac{20}{E_r}$$

Као прва апроксимација, максимална ширина прслина за фeroцементне елементе изложене савијању, армиране завареним и плетеним мрежама, може се израчунати на основу приложеног израза.<sup>430</sup>

$$W_{max} = \beta D_T \frac{\sigma_r}{E_r}$$

Максимална ширина прслина зависи од односа дистанце од неутралне осе најудаљенијег затегнутог влакна и дистанце од неутралне осе слоја мреже најближе затегнутој ивици композита  $\beta$ , размака трансверзалних жица  $D_T$ , напона у арматури  $\sigma_r$  и ефективног модула еластичности система за армирање  $E_r$ .  $\beta$  је 1.25 за правоугаоне, али је мање од 1,25 за Т, I и кутијасте пресеке.<sup>431</sup>

Препоручује се да максималне вредности ширине прслина при радном оптерећењу буду мање од 0,10mm за некорозивну средину и 0,05mm за корозивну средину.<sup>432</sup> Треба напоменути да су препоручене ширине прслина за фeroцемент мање од вредности прописаних у Правилнику о техничким нормативима за бетон и армирани бетон ("Sl. list SFRJ", 011/87).

За прорачун угиба могу се користити стандардни изрази из отпорности материјала, осим што се за моменат инерције попречног пресека узима ефективни моменат инерције, који се добија на основу следећег израза:<sup>433</sup>

$$I_e = I_{cr} + (M_{cr}/M_a)^3 (I_{uncr} - I_{cr}) \leq I_{uncr}$$

$I_e$  – ефективни моменат инерције - просечна вредност момента инерције дуж делимично испрсколог и делимично неисксколог носача

$I_{uncr}$  – моменат инерције неисксколог пресека

$I_{cr}$  – моменат инерције испрсколог пресека

$M_{cr}$  – моменат на носачу у тренутку појаве прслина

$M_a$  – максимални моменат на носачу

Обзиром на то да су фeroцементни елементи веома савитљиви и да ће њихово пројектовање најпре условљавати други критеријуми, не препоручује се посебно

<sup>430</sup> Ibid., 4.8.

<sup>431</sup> Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*, 148.

<sup>432</sup> Komisija za standarde iz oblasti Betonskih konstrukcija, *Tehnička preporuka za ferocement*, 18.

<sup>433</sup> Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*, 155.

ограничење угиба. Инжењерска процена треба да буде основ за пројектовање у зависности од функције структуре.<sup>434</sup>

Заштитни слој арматуре мора бити једнак двострукој дебљини жице или дебљини друге арматуре која се користи. Међутим, мања дебљина заштитног слоја је могућа ако арматура није подложна брзој корозији, ако је површина заштићена одговарајућим премазом и ако је ширина прелина ограничена на 0,05mm. За фероцементне елементе тање од 25mm, заштитни слој дебљине 2,0 mm даје сасвим добре резултате.<sup>435</sup>

### **3.7 Пројектовање фероцементних конструкција према критеријуму стабилности**

Код танкозидних фероцементних елемената, мале дебљине попречног пресека, део притиснутог попречног пресека може престати да преузима оптерећење због појаве локалног избочавања или извијања. Ове појаве имају утицај на капацитет носивости и облик отказивања носивости. Критични напони избочавања и извијања постају основна мера сигурности. Код фероцементних елемената потребна је контрола њихове локалне и глобалне стабилности при дејству оптерећења, односно контрола локалног избочавања и извијања, обзиром на то да су фероцементни елементи “врло сумњиви када је у питању губитак стабилности, због танких попречних пресека, када су изложени дејству сила у равни”.<sup>436</sup>

Са порастом запреминског удела арматуре смањује се критични напон извијања, што може бити условљено преласком из релативно крутог у скоро еласто-пластични материјал, као и ефектом одвајања малтера и арматуре који се интензивира у случају већег запреминског удела арматуре.<sup>437</sup> У том смислу запремински удео арматуре треба држати на минимуму код танких притиснутих фероцементних елемената.

---

<sup>434</sup> IFS Committees 10, *Ferrocement Model Code*, 4.7.

<sup>435</sup> *Ibid.*, 4.9.

<sup>436</sup> Hossain and Inoue, „Compression Behavior and Buckling Analysis of Ferrocement Elements Using the Finite Element Method“, 148.

<sup>437</sup> Hossain and Inoue, „A Comparison of the Mechanical Properties of Ferrocement Elements under Compression for Square and Chicken Meshes“, 319-343.

Постоји мали број истраживања на тему локалног избочавања и извијања фероцементних елемената, најпре из разлога што су они најчешће део композитних система. Ипак са све већим ширењем могућих примена фероцемента, питања стабилности постају битна, посебно што локално избочавање и извијање у неким ситуацијама могу бити критични параметри при пројектовању. Оно што је ипак извесно је да “фероцемент треба да буде савијен или наборан како би се остварила структурална стабилност” (Слика 65).<sup>438</sup> Аберкромби у књизи “Фероцемент: грађење помоћу цемента, песка и жичане мреже” констатује: “танкоћа фероцемента чини га структурално нестабилним уколико није савијен, али управо та његова танкоћа, комбинована са великом савитљивошћу његових носећих жичаних мрежа, чини ово савијање веома једноставним”.<sup>439</sup> Поред савијања и набирања фероцементних површина, структурална стабилност се може се остварити и увођењем ребара (Слика 66), што представља врло ефикасан начин и за повећање крутости, посебно по питању утрошка материјала.<sup>440</sup>



Слика 65. Анупама Кунду, фероцементна наборана структура - прототип „Light Matters“, Индија, 2013. [Преузето са <http://cusp-design.com/designer/anupama-kundoo/>, 12.3.2012.]

Слика 66. Истраживачки центар Ауровил, фероцементна љуска ојачана ребрима. [Преузето са <http://www.auroville.org/>, 19.3.2012.]

<sup>438</sup> Abercrombie, *Ferrocement: Building with cement, sand, and wire mesh*. Quoted in Kundoo, „The plasticity of ferrocement: Its potential for architectural application and influence on architectural form“, 454.

<sup>439</sup> Abercrombie, *Ferrocement: Building with cement, sand, and wire mesh*. Quoted in Kundoo, „The plasticity of ferrocement: Its potential for architectural application and influence on architectural form“, 454.

<sup>440</sup> Carli Hammer, „Optimization of dome housing in Sri Lanka“, Master Thesis, Delft University of Technology, 2006. 25.



### 3.8 Нумеричка анализа механичког понашања фероцементних конструкција

Фероцемент је материјал који има евидентне предности када је у питању израда танкозидних конструктивних елемената и конструкција. Танкозидни фероцементни елементи се најчешће примењују у закривљеној или набораној форми, где се крутост постиже кроз форму, а не кроз кумулацију материјала. Истовремено дејство момената савијања, трансверзалних сила и нормалних сила, код елемената сложене геометрије, индукује комплексно стање напона. Вредности напона и дилатација при различитим оптерећењима су условљене серијом параметара, тако да је њихово прецизно одређење веома отежано. Комплексност свих ових аспеката, имајући у виду њихово комбиновано дејство, је још увек препрека за развој јединствене теорије која треба да омогући нумеричку анализу понашања фероцементних конструкција.

Фероцементне елементе и конструкције одликује веома мала дебљина. Ово указује на могућност преурањеног лома услед појаве локалног избочавања и извијања. Такође, у случају фероцемента губитак носивости може да наступи услед појаве дробљења и прслина, односно услед нелинеарног понашања материјала при дејству оптерећења.<sup>441</sup> Нелинеарно понашање фероцемента може имати велики утицај на механичко понашање конструкције, обзиром на то да дробљење и прслине могу ослабити попречне пресеке.<sup>442</sup> Обзиром на наведено, у случају фероцементних конструкција потребно је применити нелинеарну анализу, како би се узело у обзир сложено нелинеарно понашање материјала. Ова анализа треба да обухвата нелинеарности које су последица појаве прслина у малтеру и пластичних деформација арматуре при затезању, пластичних деформација и дробљења малтера при притиску, како би се што приближније симулирало понашање реалне фероцементне конструкције.

У раду у коме је спроведена упоредна анализа резултата нумеричке нелинеарне анализе фероцементних плоча (70x30cm) применом методе коначних елемената (програмски пакет ANSYS) и резултата добијених експерименталним тестирањем истоветних фероцементних плоча, који се тичу носивости плоча при

---

<sup>441</sup> Ramm, „Ultimate Load and Stability Analysis of Reinforced Concrete Shells“, 145-159.

<sup>442</sup> Bart Peerdeman, „Analysis of Thin Concrete Shells Revisited: Opportunities due to Innovations in Materials and Analysis Methods“, Master thesis, Delft University of Technology, 2008.

савијању, показано је да постоји адекватна корелација између вредности оптерећења при лому добијених аналитичким и експерименталним путем.<sup>443</sup> Анализа фeroцементних плоча заснована је на нумеричком моделу за нелинеаран одговор материјала. 3D коначни елементи са осам чворова и три степена слободе у сваком чвору (померања по  $x$ ,  $y$  и  $z$  правцу) су коришћени како би се моделовао малтер. Ови елементи укључују модел тзв. размазаних пукотина за симулацију прлина у затегнутој зони малтера (у три ортогонална правца) и алгоритам пластичности како би се узеле у обзир пластичне деформације малтера и могућност дробљења малтера у притиснутој зони. Арматура је моделована помоћу 3D штапног елемента, са три степена слободе у сваком чвору (померања по  $x$ ,  $y$  и  $z$  правцу), који омогућава еласто-пластичан одговор арматуре. Штапни елементи челичне арматуре су повезани између чворова сваког суседног малтерског елемента. У оквиру нелинеарне анализе, укупно оптерећење подељено је на серију инкремената оптерећења. На крају сваког инкремента, матрица крутости се коригује, како последица нелинеарне промене, пре преласка у следећи инкремент оптерећења. За нумеричко решавање система нелинеарних једначина у оквиру инкремента оптерећења користи се Њутн-Рапсонов итеративни поступак.

У описаном истраживању, адекватна корелација између вредности оптерећења при лому добијених аналитичким и експерименталним путем добијена је између осталог и због тога што су анализиране плоче релативно малих распона (~60cm), чиме су редуковани ефекти великих померања. Треба имати у виду да занемаривање ефекта великих померања, односно геометријске нелинеарности, при нумеричкој анализи фeroцементних конструкција може дати нетачне резултате, обзиром на то да фeroцементне конструкције могу доживети велике деформације пре појаве прлина и велике угибе пре колапса. Наведено истраживање је показало задовољавајући ниво корелације резултата добијених аналитичким и експерименталним путем. Међутим, примењено аналитичко моделовање, у оквиру кога је сваки део малтера у оквиру окца мреже и сваки део жице око дела малтера моделован као посебан елемент, је неприхватљиво при нумеричкој анализи реалних фeroцементних конструкција веће сложености геометрије и већих димензија. У том

---

<sup>443</sup> Rohini, Thenmozhi, and Deepa Shri, „Finite Element Modeling of Ferrocement slabs in flexure using ANSYS“, 500-508.

смислу, при нумеричкој анализи фeroцементних конструкција, најчешће се примењује линеарна анализа, у оквиру које се занемарују ефекти материјалне и геометријске нелинеарности, а фeroцемент моделује као хомогенизован еквивалентни материјал, са механичким својствима изведеним из експерименталних тестирања. Линеарна анализа даје приближно тачну расподелу напона, која постаје основ за оптимизацију арматурног система у фeroцементној конструкцији.<sup>444</sup>

Истраживање спроведено у Енглеској, указало је на лимитиране могућности нумеричке анализе механичког понашања фeroцементних конструкција.<sup>445</sup> У Енглеској је 2000. године изграђен је монолитни фeroцементни пешачки мост, кабловски придржан, у виду фeroцементне плоче ојачане лонгитудиналним и трансверзалним фeroцементним ребрима сложене геометрије (распон 33.78m, ширина од 3.5-4.3m, дебљина од 0.37-0.45). Комплексни облик моста израђен је применом арматурног система. Малтер је нанешен торкетирањем.<sup>446</sup> На мосту је током експлоатације спроведено тестирање, са циљем упоређења резултата нумеричке анализе са резултатима добијеним са реалне конструкције, односно са циљем испитивања адекватности примењеног нумеричког поступка.<sup>447</sup> Показано је да је нумеричка анализа била адекватна по питању предвиђених угиба, међутим када је у питању расподела напона и њихов интензитет резултати нису били у одговарајућој корелацији у свим посматраним зонама конструкције. Одступања у резултатима су приписана неадекватном антиципирању понашања реалне конструкције, непрецизности при извођењу<sup>448</sup> и торзији насталој током процеса монтаже.<sup>449</sup> Без обзира на наведене неусклађености нумеричке анализе и реалног понашања фeroцементне конструкције, фeroцемент је оцењен као практичан и ефективан

---

<sup>444</sup> Bayzoni and Djausal, „Structural Design of Ferrocement for Lampung Siger Moniument in Indonesia“, 177-182.

<sup>445</sup> Nedwell, Adcock, and Hope, „Colliers moss millennium bridge - in situ testing“, 359-370.

<sup>446</sup> Мешавина коришћена за израду моста се састојала од једног дела белог портланд цемента, два дела агрегата од дробљеног белог мермера, 10% беле силикатне прашине, са водоцементним фактором 0.4. Обрадљивост је постигнута применом суперпластификатора 1%. Остварена чврстоћа је била 60N/mm<sup>2</sup>. Показало се да је трајност малтера унапређена.

<sup>447</sup> Нумеричке анализе је спровео Agur и у ту сврху је радио на прилагођавању програма Oasys GSA.

<sup>448</sup> Без обзира на висок степен контроле прецизности израде, реч је о ручно рађеном елементу, где је тешко постићи идеалну симетрију, као и дебљину фeroцементних површина.

<sup>449</sup> Услови на локацији, односно потреба за што краћом опструкцијом железничког саобраћаја диктирали су начин градње. Цео мост у комаду тежине 97.5t је постављен краном у коначни положај.

материјал за реализацију структура комплексних форми.<sup>450</sup> Препорука истраживача укључених у процес реализације и тестирања моста је да је потребно спровести обимнија истраживања механичког понашања реалних, комплексних фероцементних конструкција, са циљем да се добијени резултати употребе за формирање адекватних математичких модела нумеричке анализе, како би била омогућена обимнија примена и пуна искоришћеност овог материјала.

Ипак, као што комплексна природа конструкције и немогућност прецизне нумеричке симулације њеног понашања нису омели реализацију фероцементног моста у Енглеској, нису били ни ограничавајући фактор Феликсу Кандела када је градио ресторан „Лос Манантиалес“ у Ксочимилкоу у Мексику, 1958. године (Слика 67), у својој верзији фероцемента (бетонска љуска дебљине 4cm), који је у добром стању после пола века.<sup>451</sup>



Слика 67. Феликс Кандела, ресторан „Los Manantiales“, Ксочимилко, Мексико, 1958. [Преузето са <http://dating-au.com/concrete-shells/>, 23.4.2012.]

“Форма је била оригинална, неистражена и немогућа за прецизну анализу”.<sup>452</sup> Без обзира на непостојање нумеричке потврде Кандела гради ресторан, као низ других објеката међу којима је и „Cosmic Ray“ павиљон Универзитета у Мексику Ситију, где уместо нумеричке анализе прилаже писано објашњење Универзитетском Комитету. Његови пројекти се у највећој мери заснивају на разумевању рада конструкција и практичном искуству. По њему је сама анализа небитна уколико пројектант изабере структурално прикладну форму. Указујући на опасности које са

<sup>450</sup> Nedwell, Adcock, and Hope, „Colliers moss millennium bridge - in situ testing“, 369.

<sup>451</sup> Burger and Billington, „Felix Candela, Elegance and Endurance: An Examination of the Xochimilco Shell“, 271-278.

<sup>452</sup> Ibid., 272.

собом носи неадекватна нумеричка анализа, која може дати и погрешну слику о понашању конструкције, Кандела чак изјављује “квалитет конструкције је обрнуто пропорционалан количини прорачуна“.<sup>453</sup>

### 3.9 Пројектовање фероцементних конструкција са аспекти трајности

Дефиниција трајност бетона АСІ комитета може се применити и на фероцемент. Трајност фероцемента је, у том смислу, његова способност да се одупре дејствима атмосферилија, хемијским нападима, абразији и другим процесима детериорације, односно способност да задржи своју оригиналну форму, квалитет и употребљивост када је изложен дејствима средине.

Фероцементне конструкције су као и класичне бетонске осетљиве на дејство загађивача из ваздуха. Температура средине и промене влажности такође утичу на трајност фероцемента. Малтер брже апсорбује воду него што се исушује. Садржај воде у површинским слојевима композита ће зато обично бити већи него што је просечна релативна влажност у окружењу. Због хигроскопског ефекта ова тенденција је још израженија уколико малтер садржи хлориде. Циклуси влажења и сушења углавном представљају погодне услове за пропадање фероцемента. Ови циклуси повећавају брзину којом агресивне супстанце продиру у фероцемент и концентришу се близу површине испаравања.

Деградација малтера на површини фероцементних елемента има веће последице по њихову носивост, него што је то случај код површинске деградације класичног бетона, обзиром на малу дебљину фероцементних елемента. Најчешћи облици деградације малтера су раслојавање, љуспање, љуштење и исцветавање малтера, као и корозија арматуре. Раздвајање слојева у фероцементном елементу може бити последица лошег извођења, удара или савијања, као и унутрашњег притиска продуката експанзивне корозије. Љуспање је најчешће изазвано корозијом челика која изазива велики притисак унутар фероцемента. Хлориди у малтеру значајно повећавају могућност корозије челика, а тиме и могућност појаве љуспања. Локално љуштење и гуљење малтера је последица генерисања притисака при мржњењу воде у засићеним порама. Ипак, фероцементне конструкције имају високу

---

<sup>453</sup> Felix Candela, Personal letter to Anton Tedesco. Quoted in Burger and Billington, „Felix Candela, Elegance and Endurance: An Examination of the Xochimilco Shell“, 278.

отпорност на мраз, преко 100 циклуса, због малих пора. Исцветавање малтера не представља проблем код фeroцементa са водоцементним фактором мањим од 0,4, уколико је малтер довољно збијен.

Поред наведених облика деградације малтера, корозија челичне арматуре такође може бити узрок пропадања фeroцементних конструкција. Уколико дође до појаве корозије у елементима долази до редукције пречника жица арматуре, слабљења везе између арматуре и малтера и губитка носивости елемента.<sup>454</sup> Обзиром да је реч о танком армираном цементном композиту арматура је позиционирана ближе ивици елемента у односу на класичан армирани бетон, са малом дебљином заштитног слоја,<sup>455</sup> што омогућава бржи продор корозивних супстанци до арматуре. Специфична површина арматуре је велика, а тиме и контакт преко кога може да наступи корозивна реакција, чиме је степен корозије потенцијално висок.<sup>456</sup> Због малог пречника арматуре, губитак ефективног пречника услед корозије представља већи релативни губитак него у случају класичног армираног бетона.<sup>457</sup>

Без обзира на наведене јединствене особине фeroцементa, корозиони ефекти код фeroцементa нису опаснији од оних код класичног армираног бетона, уколико се прописано изведе композит. Озбиљнија појава корозије није карактеристична за фeroцемент, осим у случају лоше изведеног малтерисања или слабе збијености малтера.<sup>458</sup> “Обзиром да су мреже галванизоване и ширина прелина генерално веома мала, фeroцемент се показао као трајан материјал у различитим срединама”.<sup>459</sup>

Истраживање реалних фeroцементних конструкција, у неагресивним условима средине, просечне старости 15 година, израђених ручно или машински, са галванизованим или негалванизованим челичним мрежама, које је укључило испитивање узорак мреже извађене из композита, показало је да фeroцементни елементи дебљина 12-15mm имају одличну отпорност на корозију. Такође, истраживање је показало да је ова отпорност већа у случају машински произведених елемената, примене галванизованих мрежа и ситног, фино гранулисаног песка за

---

<sup>454</sup> Nedwell, „Ferrocement Research at UMIST“, 379-388.

<sup>455</sup> Обично је дебљина заштитног слоја 2-4mm, што је 10% дебљине заштитног слоја класичног бетона.

<sup>456</sup> Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*, 69.

<sup>457</sup> Bolander, & Perez-lara, „Service life simulation of thin reinforced cement-based composites“, 156.

<sup>458</sup> ACI Committee 549, *State-of-the-Art Report on Ferro cement* (Farmington Hills: American Concrete Institute, 1997).

<sup>459</sup> Naaman, *Ferro cement and Laminated Cementitious Composites*, 24.

израду малтера, као и у случају примене водонепропусних премаза. Такође, показано је да лоша збијеност и лоше извођење резултирају појавом микропрслина, чиме расте степен корозије.<sup>460</sup>

Резултати истраживања у оквиру кога је тестирано стање 13 година старе, током четири године напуштене, фероцементне конструкције<sup>461</sup> је показало да је конструкција задржала почетне чврстоће, али да је обзиром на одсуство одржавања и заштитних слојева, показала неке знаке деградације услед корозије арматуре. Закључено је да само присуство галванизоване арматуре није довољно уколико не постоји адекватна дебљина заштитног слоја. Такође, закључено је да је за трајност фероцемента битан начин извођења, односно квалитет завршне површине, како би се спречио продор ваздуха и влаге.<sup>462</sup>

Искуства у примени фероцемента у Сингапуру, оствареној кроз интензивно учешће сингапурског Националног Универзитета, указала су на то да примена галванизованих мрежа и малтера са већим процентом цемента, заједно са контролом прслина у фероцементним елементима, омогућава остварење трајних фероцементних конструкција, лаких за одржавање, са нижим трошковима одржавања током животног циклуса у поређењу са конвенционалним армираним бетоном.<sup>463</sup>

Фероцемент поседује већу отпорност од класичног бетона на агресивна дејства загађивача из ваздуха, киселина и угљендиоксида, захваљујући употреби галванизованог челика, ситнозрног песка, малог водоцементног фактора, хемијске неутрализације услед алкалности цементом богатих малтера, као и велике компактности малтера, коју је могуће лакше остварити и контролисати код редуковане дебљине елемената. Код класичног армираног бетона, користи се крупан агрегат који чини отежаним испуњавање шупљина. Класичан армирани бетон, за разлику од фероцемента, има већу масу у оквиру које је теже остварити компактност у оквиру економски исплативих поступака. Он има мањи садржај цемента, а тиме и

---

<sup>460</sup> Kaushik, Gupta, and Shanna, „Corrosion Performance of Ferrocement“, 142 – 152.

<sup>461</sup> Исечени део структуре је тестиран на дубину карбонизације, степен продора хлоридних јона, стање уграђене арматуре и чврстоћу композита при затезању, притиску и савијању.

<sup>462</sup> Mansur et al., „Durability of Ferrocement - a Case Study“, 11-19.

<sup>463</sup> P. Paramasivam, „Ferrocement: A Cementitious Thin Wall Structural Elements - Research to Practice“, in *Thin-Walled Structures: Research and Development* (Elsevier, 1998).

мању алкалност.<sup>464</sup> Такође, показано је да пораст специфичне површине арматуре води ка већем броју прлина, али мање ширине, што фероцемент чини отпорнијим на продоре агресивних супстанци.<sup>465</sup>

Као и у случају класичних армирано бетонских конструкција, фероцементне конструкције треба пројектовати у складу са условима изложености и специфичностима локације. Подела услова изложености је по Правилнику за фероцемент иста као и за класичан армирани бетон.<sup>466</sup> Када су у питању фероцементне конструкције, поред дефинисања макроокружења, потребно је дефинисати и агресивност микроокружења. Правилник за фероцемент предлаже следећу поделу на: слабо подложне, средње и високо подложне-осетљиве зоне конструкције. Наведено је посебно значајно за изложене конструкције, код који може доћи до посебне акумулације воде на пресецима хоризонталних и вертикалних површина, где ће се уједно у већој мери акумулирати и прашина и прљавштина, што ће додатно допринети дужем задржавању влаге у материјалу. Поред наведеног, разлог за дефинисање микроокружења је и тај што супстанце које могу угрозити материјал варирају од конструкције до конструкције, а чак и унутар различитих делова исте конструкције. У том смислу, потребно је спровести посебне мере за угроженије делове, које могу укључити површинску заштиту и редовније контроле.

„Стратегија пројектовања фероцемента за животни век тиче се примарно избора адекватног броја и типа садејствујућих мера које треба да осигурају захтевану трајност, узимајући у обзир дато окружење“.<sup>467</sup> Истраживања указују на то да, у случају фероцемента, хибридни системи заштите дају најбоље резултате у погледу трајности.<sup>468</sup> Бројне мере које се примењују за осигурање трајности конвенционалног армираног бетона се могу применити и на фероцемент, обзиром на то да он има исти тип састојака.

Када су у питању изложене фероцементне конструкције посебна пажња треба да буде посвећена обликовању склопа. Потребно је пројектовати адекватне детаље

---

<sup>464</sup> Gupta et al., „Corrosion performance of ferrocement structures“, in *Fibre Reinforced Cement and Concrete: Proceedings of the Fourth RILEM International Symposium* (FN Spon, 1992).

<sup>465</sup> Nedwell, „Ferrocement Research at UMIST“, 379-388.

<sup>466</sup> IFS Committees 10, *Ferrocement Model Code: Building Code Recommendations for Ferrocement* (Thailand: International Ferrocement Society, 2001).

<sup>467</sup> Ibid., 6.4.

<sup>468</sup> Mansur, Maalej, and Ismail, „Study on Corrosion Durability of Ferrocement“, 28-34.



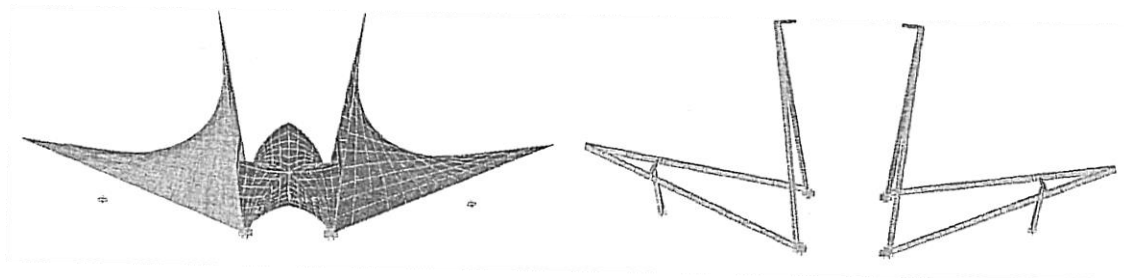
фероцементних носећих елемената, који осигуравају интегритет критичних површина или углова и ивица, уз истовремено избегавање концентрације агресивних утицаја. Геометрија изложених компоненти, форма, тип и положај веза и ослонаца треба да буде таква да се минимизује ризик локалне концентрације штетних супстанци. Избор заобљених углова и ивица редукује могућност концентрације штетних супстанци и тиме продужава трајност структуре. Све изложене површине треба да буду адекватно дрениране. Дренажу воде преко фероцемента, а посебно преко веза и спојева треба избегавати. Напрезања у конструкцији која могу водити ка појави великих локалних прслина треба да буду избегнута. Минимизовање ризика за појаву прслина могуће је остварити адекватним армирањем. Носећи спојеви треба да буду пројектовани у складу са условима изложености и агресивности окружења. Треба да буду лоцирани у зонама са минималним напонима затезања. Такође је могуће предвидети и могућност лаке замене компоненти у појединим изложеним зонама.

Испитивање стања објекта главне капије Рагунан зоолошког врта из 1984. године,<sup>469</sup> у Индонезији у којој се фероцемент успешно примењује од седамдесетих година прошлог века, показало је да су управо напрезања у конструкцији довела до појаве великих локалних прслина, које су угрозиле трајност конструкције. Капија је изведена од две фероцементне љуске облика хиперболичног параболоида, димензија 20x20x8.5m, дебљине 3cm, између којих је формирана фероцементна љуска у облику крстатог свода. Бочне љуске су ослоњене на ивичне бетонске греде (**Слика 68**). Дебљина хиперболичних љуски је у зони везе са ивичним бетонским гредама повећана због усклађивања крутости. Ипак, спој танке фероцементне љуске и ивичне бетонске греде знатно веће крутости, временом се показао као осетљиво место, на коме су се појавиле прслине, посебно након дејства земљотреса.<sup>470</sup>

---

<sup>469</sup> Anshori et al., „Ferrocement in Indonesia: Its applications and potentials“, 311-318.

<sup>470</sup> Alami, Djausal, and Yajid, „Dynamic analysis of ferrocement regunana zoo after 24 years of service“, 163-176.



**Слика 68.** Модел фероцементних љуски и модел ивичних бетонских греда. [Извор: F. Alami, A. Djausal, and A. Yajid, „Dynamic analysis of ferrocement regunana zoo after 24 years of service“, in *Ferro-9 - Proceeding of the 9<sup>th</sup> International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites: Green Technology for Housing and Infrastructure Construction* (Bandar Lampung: The University of Lampung, 2009), 167]

Трајност фероцемента условљена је саставом малтера, примарно односима песак/цемент и вода/цемент, типом цемента, као и техником и условима извођења, односно постигнутом збијеношћу материјала и квалитетом неге.<sup>471</sup> Потребно је осигурати адекватан квалитет малтера који је адекватне конзистенције, адекватно негован, са малом пропусношћу за воду и гасове и малом порозношћу, без прслина услед скупљања током сушења, по могућству са адитивима који унапређују перформансе, како би се редуковало продирање, дифузија или капиларна активност агресивних супстанци. Малтер треба да буде добро дистрибуиран и набијен. Велики број мрежа са малим окцима може да блокира пролаз малтера током малтерисања, што може резултирати већом пропустљивошћу материјала и његовом већом подложношћу на утицаје влажења и температуре и ранијем раскидању веза малтера и арматуре. Због наведених ризика, не препоручује се примена више од 4 мреже.<sup>472</sup>

Параметри који контролишу транспортне механизме, као и у случају класичног бетона, чине главне елементе трајности фероцемента. Транспорт унутар малтера примарно је одређен је типом, величином и распоредом пора. У том смислу контрола природе и распореда пора је кључна током пројектовања фероцементних конструкција.<sup>473</sup> Порозност у случају фероцемента пре свега зависи од порозности хидратизираних цементне пасте. У принципу, водоцементни фактор и степен хидратације утичу на порозност. Порозност се смањује са смањењем  $v/c$  фактора. Потребан је низак  $v/c$  фактор и адекватна нега малтера. Нижи  $v/c$  фактор повећава

<sup>471</sup> Austriaco, & Pama, „Durability of Ferrocement“, 25-29.

<sup>472</sup> Al-Rifai and Al-Shukur, Effects of Wetting and Drying Cycles in Fresh Water on the Flexural Strength of Ferrocement“, 104.

<sup>473</sup> IFS Committees 10, *Ferrocement Model Code*, 6.7.

отпорност фeroцементa на продор агресивних супстанци и редукује ефекте корозије. Водоцементни фактор до 0.4 даје добре резултате када је у питању осигурање трајности.<sup>474</sup>

Додатком адекватних хемијских и минералних адитива може се редуковати водоцементни фактор и тиме смањити величина пора, добити веће чврстоће и продужена трајност фeroцементa. Адитиви морају бити без хлорида и других супстанци које убрзавају процес корозије. Посебна пажња мора бити посвећена оптимизацији параметара мешавине како би се редуковала пропусност за водену пару и гасове цементног малтера, чиме се редукује ризик од корозије, уз истовремено повећање отпорности на хемијске утицаје и повећање отпорности на циклусе мржњења и отапања. Додавањем финијег песка, летећег пепела и силикатне прашине смањује се порозност и пропусност за водену пару и гасове фeroцементa и повећава његова отпорност на агресивне нападе.<sup>475</sup> Додавањем силикатне прашине у цементну мешавину може се редуковати корозија до мере да је могућа примена и негалванизованих мрежа.<sup>476</sup> Треба имати у виду да употреба галванизованих мрежа не обезбеђује поуздану заштиту у малтерима са садржајем хлорида. Такође, спој галванизованих мрежа са негалванизованом скелетном арматуром убрзава корозионе процесе. Цинк изазива стварање мехурова гаса хидрогена током процеса хидратације, што може довести до оштећења арматуре и слабљења њене везе са малтером, као и имати штетан утицај на чврстоћу малтера и његову водонепропусност. У том случају потребно је мешавини додати хром-триоксид како би се редуковали наведени ефекти. Како би се контролисала корозија могућа је примена инхибитора корозије.<sup>477</sup> Увођењем 7-10% ваздуха, додавањем аераната у мешавину, уз нижи в/с фактор како би се избегла редукација чврстоће, могуће је постићи већу отпорност на циклусе мржњења и отапања фeroцементa.

Посебна пажња треба да буде посвећена прслинама, које чак и када су веома мале воде порасту корозионе активности и убрзавају пропадање фeroцементa. Мале прслине реда 0.05 mm, које се могу аутогено залечити су дозвољене. Препорука АСИ

---

<sup>474</sup> Ibid., 4.6.

<sup>475</sup> IFS Committees 10, *Ferrocement Model Code: Building Code Recommendations for Ferrocement* (Thailand: International Ferrocement Society, 2001).

<sup>476</sup> Nedwell et al., „Durability of Ferrocement“, 367.

<sup>477</sup> Akhtar, Arif, and Mumtaz, „Use of Chemical Corrosion Inhibitors for Protection of Metallic Fibre Reinforcement in Ferrocement Composites“, *The Arabian Journal for Science and Engineering* 34(2C), 2009.

комитета је да максимална ширина прслина за некорозивно окружење не треба да буде већа од 0.1mm, док за корозивну средину и конструкције изложене директном дејству воде ова ширина не треба да прелази 0.05 mm.<sup>478</sup>

Термичке прслине, као и прслине услед пластичног скупљања, које су код класичног армираног бетона углавном условљене пропорцијом мешавине, у случају фeroцементa су пре свега условљене положајем арматуре, при чему су мање уколико је арматура ближа површини елемента.<sup>479</sup>

Истраживање је показало да у агресивној средини расте кртост малтера, што води ка појави мањег броја прслина, али веће ширине, што може имати негативне последице по трајност фeroцементних елемената.<sup>480</sup> Додатак микро влакана у заштитном слоју води ка смањењу ширине прслина и тиме већој трајности.

Побољшање трајности фeroцементa могуће је кроз модификацију мешавине додавањем полимера. Полимерима модификовани малтери су мање подложни скупљању и развоју микропрслина. Редукује се порозност и пропусност за водену пару и гасове малтера и тиме дубина пенетрације агресивних супстанци. Постиге се већа отпорност на временске утицаје, абразију, хемијске нападе, развој прслина и друге процесе детериорације. Најчешће су у употреби полимери: стирен-бутадиен кополимер латекс, етилен-винил ацетат, полиакрилне естарске емулзије и епоксидне смоле.<sup>481</sup>

Један у низу параметара који контролишу трајност фeroцементних конструкција је дебљина заштитног слоја. Препоручене дебљине варирају. У оквиру Правилника за фeroцемент препоручена дебљина заштитног слоја је 2-3mm, односно максимално петина висине фeroцементног пресека, односно не више од две дебљине жице мреже. Ограничење дебљине заштитног слоја препоручује се обзиром на то да повећање његове дебљине води ка ширим прслинама при савијању и тиме ка већој опасности од агресивног напада и редукованој трајности.<sup>482</sup>

---

<sup>478</sup> ACI Committee 549, *ACI 549.1R-93*, reapproved 1999, 11.

<sup>479</sup> Lee et al., „A study of sandwich wall panel“, 295-313.

<sup>480</sup> Nedwell, „Ferrocement Research at UMIST“, 379-388.

<sup>481</sup> Hanafiah, Ramli, and Abllah, „Durability of ferrocement structures in aggressive environment by laboratory tests“ (paper presented at the 4th Annual Seminar of National Science Fellowship, 2004); Andal, Palanichamy, and Sekar, „Strength and durability of polymer and fly ash modified ferrocement roofing/flooring elements“ (paper presented at the 33rd Conference on Our World in Concrete and Structures, Singapore, 2008).

<sup>482</sup> Xiong and Singh, „Fatigue Behaviour of Ferrocement in a Corrosive Environment“, 7-18; Nedwell, „Ferrocement Research at UMIST“, 379-388.

Како би се редуковала корозија, поред примене галванизованих мрежа, могућа и употреба мрежа пресвучених епоксидом и мрежа од нерђајућег челика. Такође, могу се применити и мреже од синтетичких влакана (мреже израђене од полимера ојачаних араמידним, стакленим или угљеничним влакнима).

Фероцементна конструкција у неагресивним срединама обично не захтева било какву површинску заштиту, уколико је малтер доброг квалитета. Међутим, примена површинске заштите може продужити век трајања фероцемента, смањењем пропусности, односно спречавањем корозионог дејства киселина, алкалних соли и органских супстанци. У високо агресивним окружењима може бити неопходна примена површинских заштитних премаза како би се спречио продор агресивних супстанци.<sup>483</sup>

У оквиру архитектонских конструкција које нису изложене агресивним дејствима може се користи боја као завршна обрада фероцемента. Бојење екстерних површина обезбеђује бољу заштиту арматуре против корозионих ефеката у поређењу са необојеним површинама фероцемента.<sup>484</sup>

Када се конструкција налази у агресивној средини, морају се користити додаци или премази да би се побољшала трајност. Многи премази и третмани импрегнације који су доступни за употребу код конвенционалног армираног бетона могу бити примењени и у случају фероцемента. Они штите фероцемент од корозивне активности киселина, алкалних соли и органских супстанци. Епоксидна и полиуретанска једињења су најчешће коришћени премази. Карактерише их одлично пријањање за фероцемент и алкална отпорност. Поједина једињења деградирају у контакту са ултравиолетним (UV) зрачењем, временом постају крта или имају много већи коефицијент ширења од фероцемента, па се не препоручује њихова примена на површинама изложеним сунцу и великим варијацијама температуре.

Фероцемент, као и класичан бетон, може да буде пројектован тако да се задовољавајуће понаша када је изложен дејству хемикалија. Постоје, међутим, хемијска окружења у којима би животни век фероцемента био кратак уколико није прописно заштићен. Када је фероцемент изложен корозивним хемикалијама, танак заштитни слој малтера може бити ољуштен, излажући мреже и угрожавајући

---

<sup>483</sup> ACI Committee 549, *ACI 549.1R-93*, reapproved 1999, p. 6.16-17.

<sup>484</sup> Gupta et al., „Corrosion performance of ferrocement structures“, in *Fibre Reinforced Cement and Concrete: Proceedings of the Fourth RILEM International Symposium* (FN Spon, 1992).

композит. Главно дејство хемикалија је да дезинтегришу површину малтера, униште везу између малтера и арматуре и изазову корозију. Препоручују се површински третмани фероцемента у форми премаза и облога.<sup>485</sup>

### 3.10 Одржавање и санација фероцементних конструкција

Фероцементне конструкције треба да буду редовно прегледане и одржаване током животног века. Посебна пажња треба да буде посвећена корозији арматуре и појави непредвиђених деформација. Обзиром на то да не постоји довољно информација о трајности фероцемента, интервали између контрола треба да буду краћи него што је то уобичајено код класичних армиранобетонских конструкција и у складу са условима употребе и окружења.<sup>486</sup> Осетљиви делови конструкције су обично чворови, ослонци, зоне дренажне и инсталација, зоне где је могућа акумулација воде и прљавштине. Визуелном инспекцијом је могуће уочити појаву абразије, ерозије, прслина, отпадања малтера, дезинтеграцију малтера услед циклуса мржњења и отапања, алкално-агрегатни напад, напад киселина, појаву рђе и других измена боје.

Одржавање пре свега подразумева откривање и попуњавање шупљина, замену оштећеног заштитног слоја и козметички третман површинских мрља. Примарни циљ је уклањање свог оштећеног малтера или малтера контаминираног корозивним агенсима. Поправке се обично изводе ручно. Циљ је продирање малтера кроз мрежну структуру и њено потпуно облагање. Уклањање оштећене, кородиране зоне или хлоридима контаминираног малтера, заробљеног унутар арматурне мреже, захтева значајан обим ручног рада, тако да може бити економично да се читава зона реконструише. Пошто је фероцемент мање порозан од уобичајеног бетона, мрље не продиру дубоко у цементни малтер. Мрље се могу уклонити четкањем и испирањем и уз примену детерџента или благих киселина.

Експериментално истраживање је показало да након поправке фероцементни елементи имају приближно 70% иницијалне чврстоће на притисак и 90% иницијалне

---

<sup>485</sup> Магнезијум или цинк флуоросиликати, натријум силикати, премази од смола, епоксидних смола, пластичних материјала, битуменозних материјала, угљени катрански премази, хлорисана гума, асфалт, битуменски емајл, битуменски пластични материјали, битуменске емулзије, сушени уљани премази, акрилне боје и лакови.

<sup>486</sup> IFS Committees 10, *Ferrocement Model Code*, 6.6.

чврстоће на затезање. Губитак носивости на притисак приписује се финим прслинама које остају необрађене у процесу поправке због слабе уочљивости или приступачности, као и због спојева између новог и постојећег малтера који су се показали као најслабија места поправљених узорака.<sup>487</sup>

### 3.11 Пројектовање фероцементних конструкција на дејство пожара

Отпорност фероцемента на ватру углавном зависи његове пропусности за гасове, густине, типа агрегата, дебљине елемената и специфичне површине арматуре.

Фероцемент као и класичан армирани бетон спада у негориве материјале. Он може да издржи температуре до 1700°C у трајању од 1 ½ сата, без раслојавања, прслина, пуцања и одвајања малтера од арматуре.<sup>488</sup> Фероцементни сендвич панели са изолационом испуном могу издржати директну изложеност ватри са температурама и до 750°C у трајању од 2 ½, без оштећења површине.<sup>489</sup> Отпадање малтера може да наступи само у зонама максималне изложености пламену и у зонама са повећаним процентом влаге.<sup>490</sup>

Тестирање интегритета фероцементних узорака при дејству ватре у трајању од 3h,<sup>491</sup> показало је да фероцемент поседује адекватну отпорност на пожар. Максимална ширина прслина опада са порастом дебљине узорка, али расте са порастом дебљине заштитног слоја.<sup>492</sup> Чињеница која доприноси отпорности на пожар фероцемента је да је малтер релативно непорозан и да садржи мало воде која би генерисала притиске услед испаравања при загревању. Одсуство крупног агрегата, који би имао променљиве термичке карактеристике, такође доприноси порасту отпорности на пожар. У случају пожара малтер штити мрежну челичну арматуру, која затим равномерно дистрибуира и дисипира топлоту са врло мало штете по

---

<sup>487</sup> Adajar, Hogue, and Jordan, „Ferrocement for Hurricane-Prone State of Florida“ (paper presented at the 11th International Conference on Structural Faults + Repair, Edinburgh, Scotland, 2006).

<sup>488</sup> N.D. Vietmeyer, *Background-information on ferro-cement as a boatbuilding material for developing countries* (Report), Pakistan, 1971.

<sup>489</sup> W.N. Al-Rifaie, „Modern Housing System using Ferrocement As Sustainable Construction Materials“, University of Tikrit, Iraq, (n.d.).

<sup>490</sup> J. Fyson, „FAO Investigates Ferro-Cement Fishing Craft: Laboratory Analysis, Construction Methods, Service Experience“, *Fishing News*, 1973.

<sup>491</sup> Тестирање у складу са ASTM стандардом (Standard Test Methods for Fire Tests of Building Construction and Materials, American Society for Testing and Materials).

<sup>492</sup> Greepala and Nimityongskul, „Structural integrity and insulation property of ferrocement exposed to fire“, 939-952.

композит. Уколико би пожар био довољно интензиван да ослободи одређену количину воде хемијски везане у малтеру, уништи везу између цемента и агрегата или оксидише арматуру, површина би била угљенисана и ољуштена. Таква оштећења се могу лако идентификовати. У том случају могуће је потпуно уклањање оштећених места и поправка.

Међутим, недостају испитивања механичког понашања фероцементних елемената и конструкција при дејству пожара,<sup>493</sup> обзиром на то да сваки посебни случај примене захтева посебну студију.<sup>494</sup> Механичко понашање фероцементних елемената и конструкција при пожару зависи од статичког система, врсте оптерећења, типа примењене арматуре и дебљине заштитног слоја. Генерално, танкозидне армиранобетонске конструкције, а тиме и фероцементне, одликује ниска механичка отпорност на пожар,<sup>495</sup> што лимитира њихову употребу. При високим температурама код танкозидних фероцементних елемената долази до брзе дехидратације, што може довести у питање чврстоћу.<sup>496</sup> Фероцемент може бити осетљивији на дејство пожара од класичног бетона, по питању механичког понашања, због танког заштитног слоја. Уколико се користе заварене мреже његово механичко понашање може бити још више угрожено, из разлога што се заварени спојеви при топлоти пре топе него жице.<sup>497</sup> Ипак, у поређењу са другим конструктивним материјалима сличне дебљине фероцемент је значајно отпорнији на пожар.<sup>498</sup>

У просеку, механичка отпорност на пожар носећих фероцементних елемената који нису део композитног склопа је само 30 минута.<sup>499</sup> Веће вредности отпорности на пожар фероцемента могу се остварити у оквиру сендвич елемената.<sup>500</sup> Углавном су

---

<sup>493</sup> ACI Committee 549, *ACI 549R-97*, 16.

<sup>494</sup> X. Амирович, „Технология армоцементных конструкций высокой огнестойкости с теплозащитным слоем из эффективного легкого бетона“, Диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук, Ростов-на-Дону, 2007.

<sup>495</sup> Руководство по технико-экономической оценке способов формирования бетонных и железобетонных изделий (Стройиздат, 1978).

<sup>496</sup> Charles Darwin Canby, *Ferro-cement With Particular Reference to Marine Application* (Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1969).

<sup>497</sup> Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*, 69.

<sup>498</sup> *Ibid.*, 69.

<sup>499</sup> X. Амирович, „Технология армоцементных конструкций высокой огнестойкости с теплозащитным слоем из эффективного легкого бетона“, Диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук, Ростов-на-Дону, 2007.

<sup>500</sup> Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*, 69.



досадашња тестирања отпорности на пожар фeroцементa и вршена над сендвич елементима, обзиром да је то најчешћи облик његове примене. Тестирани на носивост на притисак при дејству ватре, фeroцементни панели са двостраним слојем фeroцементa и испуном од полиуретанске пене или минералне вуне или без испуне, према ASTM E-119 стандарду, су у просеку губили носивост на температури од 140-180 °C, након 60-70 минута.<sup>501</sup>

Фeroцементне конструкције, обзиром на то да имају малу механичку отпорност на пожар, не задовољавају услове за објекте SNIP 21-01-97 (Руска техничка регулатива у вези са сигурношћу зграда и конструкција при дејству пожара). Обзиром на бројне друге предности фeroцементa, у Русији су у току истраживања могућности његове примене у сендвич елементима. Анализа могућих начина да се побољша отпорност на пожар фeroцементних конструкција је показала да је најефикаснији и најекономичнији начин заштите примена термоизолационих материјала као што је вермикулит. Уз основну улогу заштите од пожара, ови материјали могу истовремено да обезбеде и задовољавајућа акустичка и термална својства фeroцементних елемената и конструкција.<sup>502</sup> Елементи фeroцементa обложени вермикулитом су показали отпорност на пожар у трајању од 150-180 минута, што их чини погодним за употребу. Поред наведеног, слој вермикулита доприноси и порасту крутости фeroцементног елемента и редукцији деформација и прслина при оптерећењу,<sup>503</sup> обзиром на то да је монолитно везан за фeroцемент у процесу извођења.

Употреба фeroцементa у садејству са другим конструктивним материјалима у композитним системима, са класичним армираним бетоном или челиком, може допринети већој отпорности конструкције на дејство пожара. Примена фeroцементa у склопу армиранобетонских конструкција може да елиминише ефекте одламања бетона при дејству пожара, посебно изражене код бетона великих чврстоћа, који могу водити и ка колапсу конструкције.<sup>504</sup> Испитивање фeroцементом ојачаних

---

<sup>501</sup> Basunbul, Nuh, and Williamson, „Fire Resistance of Ferrocement Load Bearing Sandwich Panels“, 109-123.

<sup>502</sup> X. Амирович, „Технология армоцементных конструкций высокой огнестойкости с теплозащитным слоем из эффективного легкого бетона“, Диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук, Ростов-на-Дону, 2007.

<sup>503</sup> Ibid.

<sup>504</sup> Watwong and Pichai, „Structural integrity of ferrocement panels exposed to fire“, 419–430.

бетонских узорака је показало да су елементи при пожару претрпели мање оштећења и задржали већу чврстоћу од узорака без ојачања.<sup>505</sup>

Потребна су нова истраживања како би фeroцемент могао да задовољи техничке прописе по питању противпожарне отпорности, посебно по питању дебљине заштитног слоја. Његова даља примена у склопу носећих конструкција у великој мери зависи од развоја ефикасних технолошких и конструктивних мера за побољшање отпорности носећих склопова на пожар.

### **3.12 Видови примене фeroцементa у конструкцијама зграда**

#### **3.12.1 Конструкције засноване искључиво на фeroцементу као конструктивном материјалу**

##### **Префабриковане фeroцементне плоче**

Танкозидни фeroцементни елементи се најчешће примењују у закривљеној или набораној форми, где се крутост постиже кроз форму. У случају слободно ослоњених равних фeroцементних плоча, обзиром на малу дебљину попречног пресека и тиме малу крутост, могуће је премошћавање релативно малих распона. Ипак, за поједине намене, примена фeroцементa може имати предности у односу на друге могућности материјализације танких плочастих елемената.

У оквиру пројекта развоја нових технологија за потребе стамбене изградње у Сингапуру фeroцемент је примењен, између осталог, за израду секундарних кровних плоча, димензија 60x60x2cm (Слика 69).<sup>506</sup> Фeroцементне плоче су замениле раније плоче које су извођене од лаког бетона, које су брзо пропадале и које су морале бити мењане на сваких десет година. Секундарне фeroцементне кровне плоче су део термоизолационог система крова, где се кров одржава хладним помоћу вентилиране зоне ваздушног слоја. У каснијим фазама развоја система, фeroцементне плоче су постале и део система одводњавања крова, тако што су обликоване као велики црепови, чиме је елиминисан хидроизолациони слој. Фeroцементне плоче су се показале као врло трајне, чиме су ушле у ширу примену и у другим областима

---

<sup>505</sup> Kaushik et al., „Performance of ferrocement encased concrete columns under fire exposure“, 191-196.

<sup>506</sup> ACI Committee 549, *ACI 549R-97*, 21.

градње у Сингапуру, од 1991. године, посебно у оквиру програма масовне стамбене изградње НДВ.<sup>507</sup> Фероцементни елементи су у Сингапуру прихваћени, примарно због мање цене трошкова животног циклуса у односу на алтернативне материјале за дату намену. Фероцемент је примењен и за израду лаких префабрикованих елемената за заштиту од сунца, мале дебљине (380kg за фероцемент, наспрам тежине од 950kg по елементу за класичан армирани бетон), који се у виду конзолних препуста инсталирају изнад прозора стамбених зграда (Слика 70).<sup>508</sup>



Слика 69. Фероцементне секундарне кровне плоче. [Извор: ACI Committee 549, *State-of-the-Art Report on Ferrocement, ACI 549R-97* (Farmington Hills: American Concrete Institute, 1997), 21],

Слика 70. Фероцементни елементи за заштиту од сунца. [Преузето са <http://www.eng.nus.edu.sg/civil/research/CAMS/CAMS-research.html>, 29.4.2012.]

### **Префабриковани фероцементни степеници**

Предузеће „Milinković Company“ у Србији изводи танкозидне конзолне фероцементне префабриковане елементе за израду степеништа, помоћу којих се уз минимални утршак материјала могу извести степенишни краци ширине и до 1.5m (Слика 71).<sup>509</sup>

---

<sup>507</sup> Lau et al., „Development of ferrocement products for public housing construction“, 271-286.

<sup>508</sup> Mansur, Paramasivam, and Lee, „Ferrocement Sunscreens on High Rise Buildings“, 312.

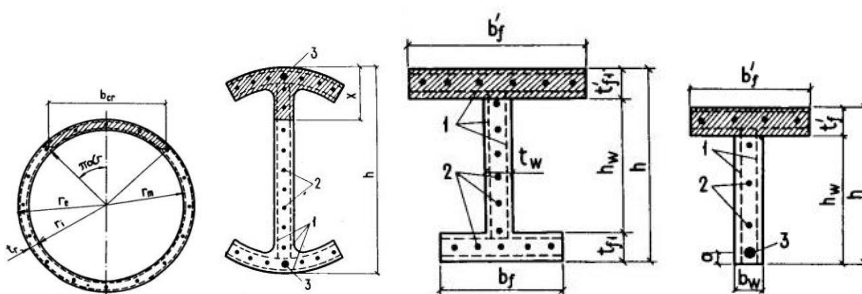
<sup>509</sup> Milinković, „Applications of ferrocement on terrestrial structures in Yugoslavia“, 381-388.



Слика 71. Фероцементни префабриковани степеници. [Преузето са [http://www.milinkovicco.com/galerija/galerija\\_stepenista.html](http://www.milinkovicco.com/galerija/galerija_stepenista.html), 3.5.2012.]

### Префабриковани фероцементни стубови и гредни носачи

У технологији фероцемента, посебно у СССР-у,<sup>510</sup> израђивани су стубови и гредни носачи сложених попречних пресека, налик онима у челику (Слика 72).



Слика 72. Стубови и гредни носачи од фероцемента. [Извор: НИИЖБ, *Пособие по проектированию армоцементных конструкций* (к СНиП 2.03.03-85) (Москва: Стройиздат, 1989)]

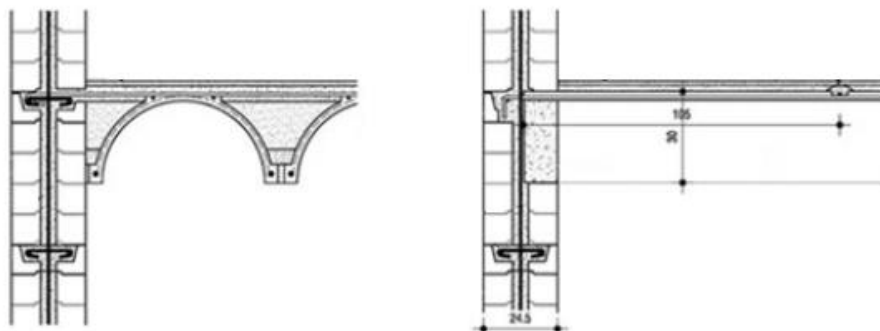
Фероцемент налази своји масовну примену за израду закривљених и набораних гредних елемената међуспратних и кровних конструкција мањег распона. Употребом ових елемената може се остварити редукција тежине конструкције и до 56%, у односу на класичне армиранобетонске плоче.<sup>511</sup> Редуковање тежине елемената међуспратне конструкције води ка уштедама у количини материјала и код осталих делова конструкције (греда, зидова, стубова и темеља).

Истраживачи у Ауровилле-у, у оквиру института кога је основала индијска влада 1989. године, са циљем развоја и промовисања техника градње уз примену исплативих и енергетски ефективних материјала, препознали су наведене предности

<sup>510</sup> НИИЖБ, *Пособие по проектированию армоцементных конструкций* (к СНиП 2.03.03-85) (Москва: Стройиздат, 1989).

<sup>511</sup> Kumar, „Ferrocement Box sections-viable option for Floors and Roof of Multi-storied Buildings“, 569-582.

фероцементних елемената за формирање међуспратних и кровних конструкција и у оквиру пројекта „Склониште отпорно на многе хазарде“ предлажу решење дато на слици (Слика 73).



Слика 73. Фероцементни елементи за формирање међуспратних и кровних конструкција. [Преузето са [http://www.earth-auroville.com/multi\\_hazard\\_resistant\\_shelter\\_en.php](http://www.earth-auroville.com/multi_hazard_resistant_shelter_en.php), 22.5.2012.]

Индијска влада, односно Веће за промовисање технологија грађевинских материјала, подржало је развој масовне производње фероцементних елемената (TARA Green Cast Channels) (Слика 74), како би се на исплатив и енергетски ефикасан начин могли реализовати сигурни домови за бројну Индијску популацију.



Слика 74. TARA фероцементни елементи. [Преузето са <http://taramachines.com/TARA-GreenCastChannel.aspx>, 25.5.2012.]

### **Префабриковани фероцементни панели**

Фероцемент налази своју примену и за израду префабрикованих панела. У Куби, током осамдесетих година, фероцементни панели се интензивно користе у оквиру стамбене изградње (Слика 75). Хуго Веинсток Ривас, који је искуство са фероцементом стекао изградњом бродова, уводи ову технологију као ефикаснију и

економски приступачнију<sup>512</sup> алтернативу класичном армиранобетонском панелном систему.<sup>513</sup> У то време отварају се фабрике за серијску производњу фероцементних панела, који се користе у изградњи приземних и једносратних зграда (систем SERF). Многи од тада реализованих објеката су и данас у добром стању.<sup>514</sup> Од 1990. године систем SERF се користи у Никарагви, Доминиканској републици, Ел Салвадору и након земљотреса 2010. године и на Хаитију.<sup>515</sup> Реализације остварене применом овог система градње објављене су и у оквиру студије Уједињених нација посвећене одрживим праксама које се тичу становања, где се за фероцемент посебно истиче да „локална производња уз малу потрошњу енергије и оптимизовану употребу цемента, песка и челика, даје материјал са мањим еколошким отиском од већине трајних решења за потребе становања“.<sup>516</sup>



**Слика 75.** Стамбена зграда изведена применом фероцементних префабрикованих панела, Куба. [Преузето са [http://www.asocem.org.pe/web/\\_actual\\_int/Cuba.pdf](http://www.asocem.org.pe/web/_actual_int/Cuba.pdf), 8.1.2013.]

**Слика 76.** Систем префабрикованих фероцементних зидних панела „Cementos Bio Bio“, монтажа, аксонометријски приказ конструктивног склопа, пресек кроз панеле и армирано бетонски стубац изливен на лицу места. [Преузето са <http://www.plataformaarquitectura.cl/product/ferrocemento-viviendas-industrializadas-definitivas-en-hormigon-cementos-bio-bio/>, 10.1.2013.]

Фероцемент се примењује и Чилеу за израду префабрикованих панела за потребе стамбене изградње, уквиру система „Cementos Bio Bio“ (Слика 76). Један од

<sup>512</sup> Показало се да су трошкови градње фероцементних зграда били и до 40% мањи од трошкова при изградњи у класичном армираном бетону.

<sup>513</sup> Rivas and Hernandez, „Sistema de edificios residenciales seismoresistentes de ferrocemento (SERF)“, 375-386; Rivas, „Low Cost Housing Built with Ferrocement Precast Elements“, 29-34.

<sup>514</sup> Rivas and Hernandez, 375-386.

<sup>515</sup> Osorio and Rivas, „Technology for Prefabrication and Assembling of Light Ferrocement Panels“, 119-128; Moraga, „Elementos de ferrocemento para vivienda social“, 387-391.

<sup>516</sup> *Going Green: A Handbook of Sustainable Housing Practices*, 117.

разлога за ширу примену овог система је тај што реализовани објекти нису претрпели оштећења након земљотреса. Уочено је да се применом овог система остварују бројне предности: мала тежина елемената (25% тежине масивних система); нижа цена градње у односу на традиционалне системе; једноставна и брза градња, без употребе тешке механизације и без отпада; сигурност при различитим врстама оптерећења, посебно земљотреса; отпорност на пожар; адекватна трајност уз минимум одржавања.<sup>517</sup>

Префабриковани троугаони сендвич панели, сачињени од спољног слоја носећег фeroцементa, средишњег слоја полистирена и унутрашњег слоја гипсаних плоча, примењују се за израду монолитних геодезијских купола, пречника од 7-18m. Куполе се изводе тако што се сендвич панели постављају на скеле у коначни положај, након чега се међусобно увезују преклопљене галванизоване челичне мреже, испуштене из панела (Слика 77), и приступа наношењу малтера на спојевима са циљем монолитизације конструкције.



Слика 77. Монтирање префабрикованих троугаоних сендвич панела на привремене скеле и увезивање мрежа испуштених из панела. [Преузето са <http://www.aidomes.com/construction-overview/27/article>, 14.10.2012.]

Малтерска смеша за израду фeroцементa, примарно заснована на портланд цементу и песку, се изводи по посебној рецептури и садржи синтетичка влакна и течне додатке. Циљ је унапређење карактеристика, као што су жилавост, трајност, водонепропусност, чврстоћа при притиску и затезању, отпорност на циклусе мржњења и отапања. Када је реч о арматури, у питању је посебна форма фeroцементa са једним слојем мреже са већим пречником жице и већим отворима у односу на стандардни.

---

<sup>517</sup> *Ferrocemento: Una alternativa para la vivienda*. Gerencia de asesoria tecnica (Cementos Bio Bio, 2002).

### Префабриковане фероцементне љуске

Фероцемент је погодан за израду елемената кровних конструкција већег распона, због њихове мале тежине, посебно у оквиру масовне префабриковане производње. У СССР-у су фероцементни префабриковани елементи масовно примењивани за реализацију кровних конструкција углавном индустријских и пољопривредних објеката.<sup>518</sup> Фаза имплементације овог материјала одвија се у периоду од 1955. до 1966. године. Циљ је био развити оптималне и рационалне форме, проучити физичка и механичка својства материјала и испитати механичко понашање реалних конструкција, као и развити адекватне начине производње и изградње. У поређењу са армиранобетонским кровним конструкцијама, у појединим пројектима остварена је уштеда у потрошњи бетона и до 50%. У овом периоду око милион квадратних метара фероцементних конструкција изведено је у оквиру различитих објеката широм СССР-а. Током примене се показало да је искоришћење техничких и економских предности примене фероцемента могуће остварити најпре механизованом производњом (Слика 78), у оквиру масовне примене, где се подразумева интеграција процеса пројектовања, производње, транспорта, монтаже и заптивања спојева.



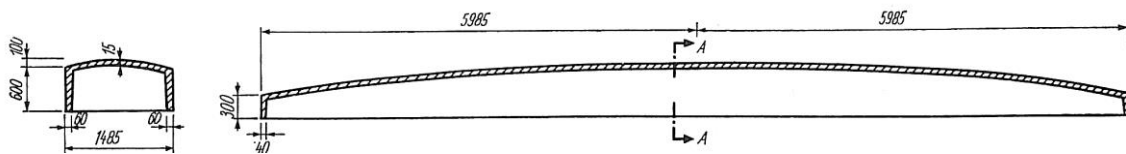
**Слика 78.** Механизована производња фероцементних љуски, СССР. [Преузето са [http://3.bp.blogspot.com/\\_REW5h1F5sv8/TN0QM7eacFI/AAAAAAAAAKZE/I\\_qnlSgtS84/s1600/27.jpg](http://3.bp.blogspot.com/_REW5h1F5sv8/TN0QM7eacFI/AAAAAAAAAKZE/I_qnlSgtS84/s1600/27.jpg), 2.10.2012.]

---

<sup>518</sup> Rile, *Prostorne krovne konstrukcije*, 228-238.

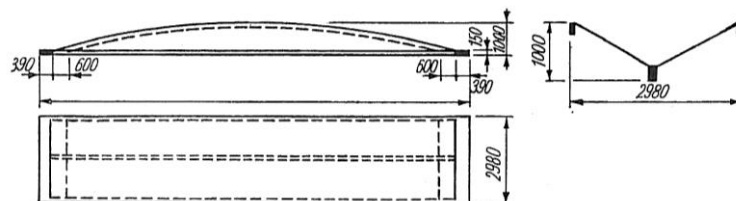


Плитка фероцементна кровна љуска са двоструком кривином (Слика 79), реализована у Москви, ширине 1.5m и распона 12m, изведена је са ивичним ребрима дебљине 6cm док је сама љуска дебљине 1.5cm (МВ30).<sup>519</sup> Фероцементна љуска је армирана са две плетене поцинковане мреже са окцима 7x7mm, између којих је скелетна арматура од жица пречника 3mm, 15x15cm. У ребрима се налази преднапрегнута класична арматура (пречника 16-18mm). Тежина једног елемента је 3t.



Слика 79. Фероцементна љуска са двоструком кривином. [Извор: Н. Rile, *Prostorne krovne konstrukcije* (Beograd: Građevinska knjiga, 1977), 233]

Кровна наборана фероцементна љуска типа Грани (спојени коноиди), са средњим ребром, која на ослонцима прелази у равну ивицу (Слика 80), изведена у СССР-у, ширине 3m, распона 15.5m и дебљине 2cm (МВ20), армирана је са две плетене мреже, пречника жица 1mm, са окцима 10x10mm, између којих је скелетна арматура од жица пречника 3mm, 20x20cm.<sup>520</sup>



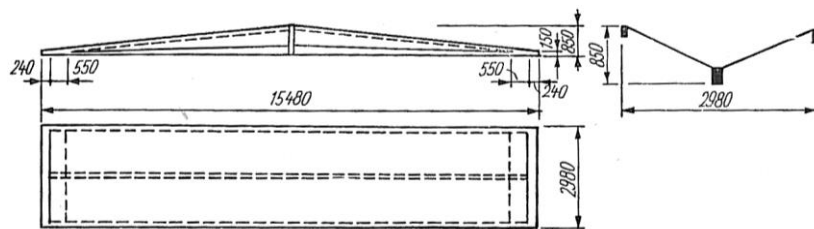
Слика 80. Наборана фероцементна љуска типа Грани. [Извор: Н. Rile, *Prostorne krovne konstrukcije* (Beograd: Građevinska knjiga, 1977), 233]

Кровна наборана фероцементна љуска типа Бабочка (СССР), са средњим ребром, која на ослонцима прелази у равну ивицу, а у подужном правцу је хиперболички закривљена (Слика 81), изведена у СССР-у, ширине 3m, распона 15.5m, армирана је као и тип Грани.<sup>521</sup>

<sup>519</sup> Rile, 232-233.

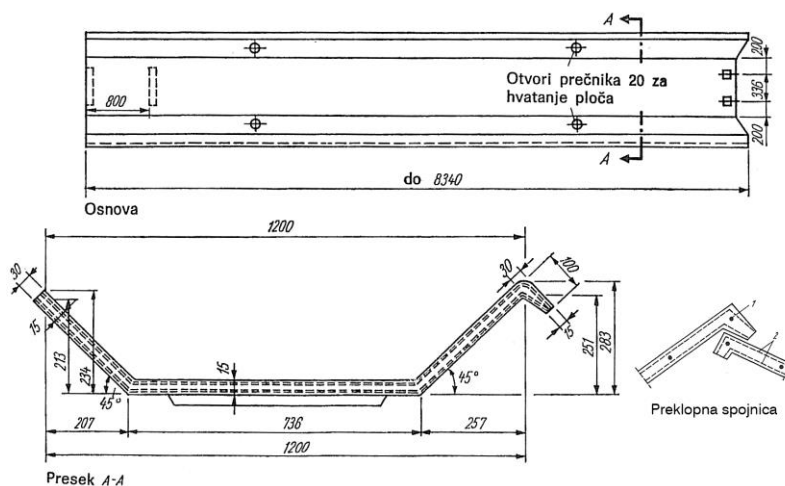
<sup>520</sup> Rile, 233.

<sup>521</sup> Ibid., 233-234



Слика 81. Наборана фероцементна лјуска типа Бабочка. [Извор: Н. Риле, *Просторне кровне конструкције* (Београд: Грађевинска књига, 1977), 234]

Фероцементна наборана кровна лјуска, коритастог облика (Слика 82), изведена у Москви (НИИЖБ - Научно-истраживачки институт за бетон и армирани бетон), ширине, 1.2m, распона 8.2m и дебљине само 1.5cm, армирана је са четири плетене поцинковане мреже, пречника жице 0.7mm, као и једним слојем жица пречника 3mm.<sup>522</sup> У случају преднапрезања жица, број мрежа редукован је на две. За преднапрегнуту варијанту елементи су лакши 45%. Подужна спојница затвара се преклапањем крајева лјуски.

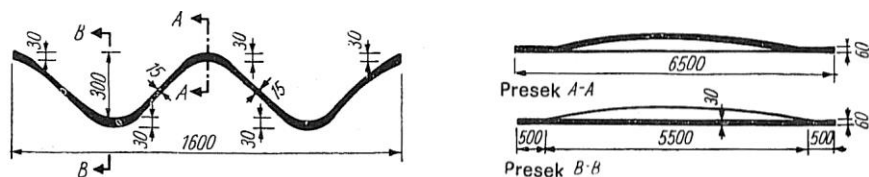


Слика 82. Фероцементна наборана кровна лјуска, коритастог облика. [Извор: Н. Риле, *Просторне кровне конструкције* (Београд: Грађевинска књига, 1977), 230 и 235]

Кровна таласаста фероцементна лјуска, изведена у Ленјинграду као двоталасна лјуска са равним лежиштем (Слика 83), ширине 1.6m, распона 6.5m, дебљине 1.5-3cm, армирана је са две мреже пречника жица 1.2mm између којих је мрежа од дебљих жица пречника 4mm.<sup>523</sup> У сваком дну таласа смештене су по две шипке пречника 6mm.

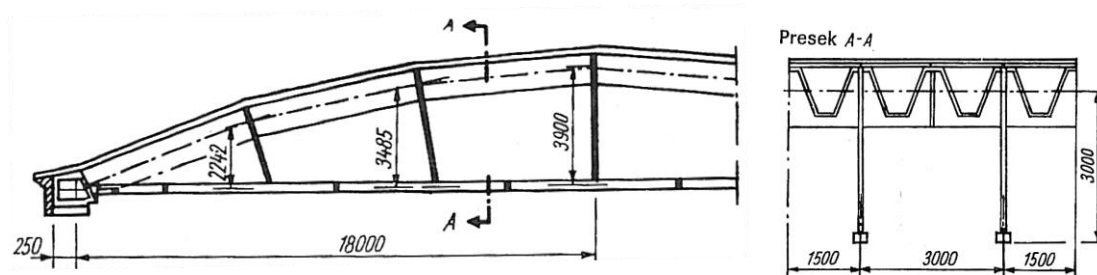
<sup>522</sup> Ibid., 233 i 235.

<sup>523</sup> Rile, 235.



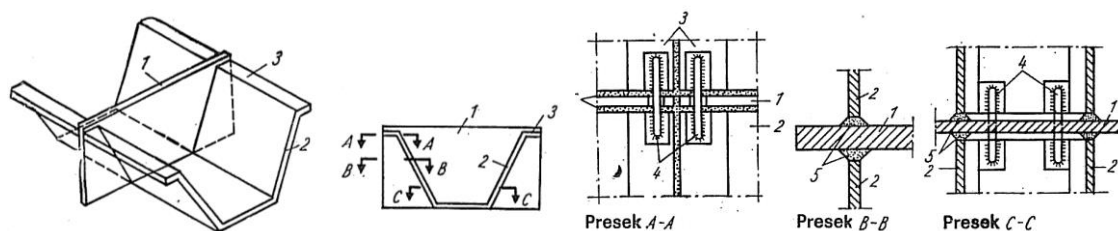
Слика 83. Двоталасна фeroцементна лјуска са равним лежиштем. [Извор: Н. Rile, *Prostorne krovne konstrukcije* (Beograd: Građevinska knjiga, 1977), 235]

Лучна конструкција од набраних фeroцементних елемената, вешалки и затеге, коју је развио НИИЖБ (Слика 84), предвиђена је за објекте распона од 30-42m.<sup>524</sup> Лук се ослања на закошене ивичне греде. Затегу чине елементи дужине 6м, димензија попречног пресека 16x22cm, састављени на лицу места, кроз које су спроведена два снопа од по 18 жица, пречника 5mm, која су затим преднапрегнута.



Слика 84. Лучна конструкција од набраних фeroцементних елемената, вешалки и затеге. [Извор: Н. Rile, *Prostorne krovne konstrukcije* (Beograd: Građevinska knjiga, 1977), 236]

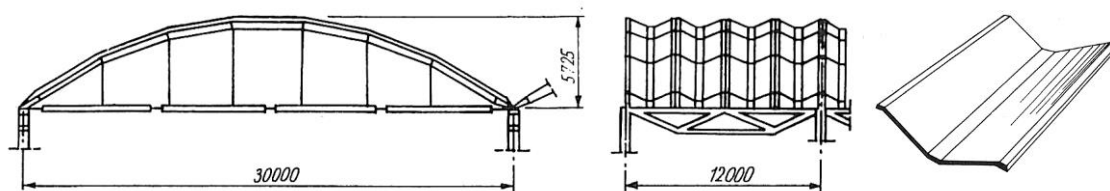
Фeroцементни елементи, ширине 1.5m, дужине 6m и дебљине 2cm, су заваривањем међусобно повезани у лук у правцу распона (Слика 85). На месту наставка предвиђене су попречне дијафрагме како би се обезбедила стабилност облика попречног пресека и довољна крутост састављене конструкције. Набрани елементи се покривају плочама од лаког бетона који даје потребну топлотну изолацију.



Слика 85. Заварени наставак лучне конструкције. [Извор: Н. Rile, *Prostorne krovne konstrukcije* (Beograd: Građevinska knjiga, 1977), 232]

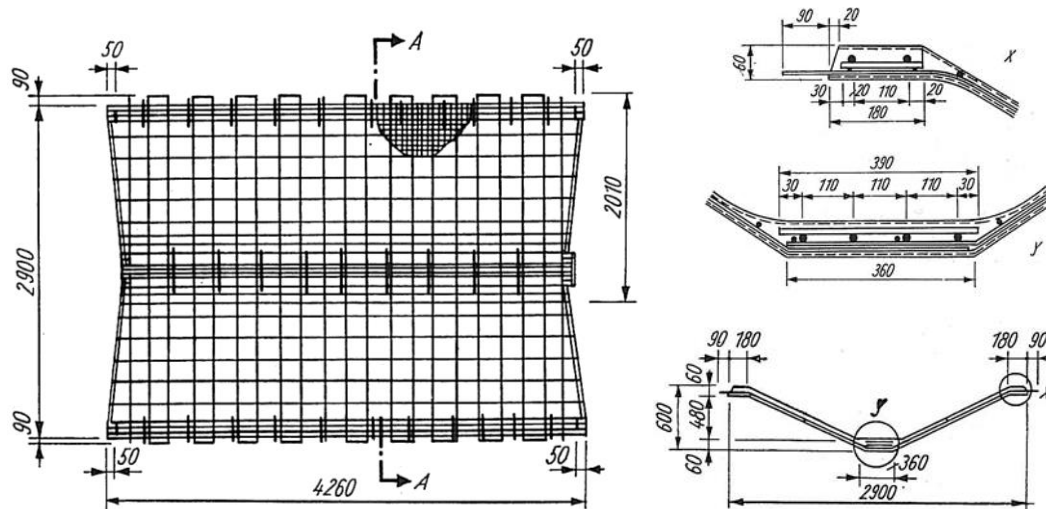
<sup>524</sup> Ibid., 235-236.

Лучна конструкција од набраних фероцементних елемената, вешалки и затеге, изведена у Лењинграду (Слика 86), предвиђена је за објекте распона од 18-30m.<sup>525</sup> Лук се ослања на ивичне носаче. За везу са ивичним решеткастим носачима предвиђени су посебни рубни фероцементни елементи лука.



Слика 86. Лучна конструкција од набраних фероцементних елемената, вешалки и затеге. [Извор: Н. Rile, *Prostorne krovne kostrukcije* (Beograd: Građevinska knjiga, 1977), 237]

Фероцементни елементи, ширине 2.9m, дужине 4.2m и дебљине 2cm, су међусобно повезани у лук у правцу распона путем посебних спојева вијцима. Елементи су тежине 1t (само 80kg/m<sup>2</sup>). Шема армирања набраног фероцементног елемента дата је на слици (Слика 87).

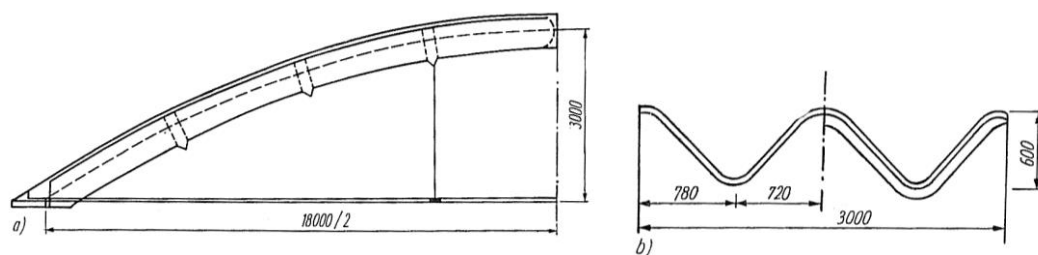


Слика 87. Шема армирања набраног фероцементног елемента. [Извор: Н. Rile, *Prostorne krovne kostrukcije* (Beograd: Građevinska knjiga, 1977), 237]

Префабриковани фероцементни елементи се примењују за израду кровних конструкција у Румунији. Лучна конструкција од таласастих фероцементних елемената, вешалки и затеге (Слика 88), ослоњена директно на темеље, предвиђена

<sup>525</sup> Rile, 236-237.

је за објекте распона од 24-60m.<sup>526</sup> Конструкцију чине фeroцементни елементи ширине 3.0m, duжине 9.5m и дебљине 1.5-2cm, тежине 3.7t.



Слика 88. Лучна конструкција од таласастих фeroцементних елемената, Румунија. [Извор: Н. Rile, *Prostorne krovne kostrukcije* (Beograd: Građevinska knjiga, 1977), 238]

Фeroцементне префабриковане кровне љуске изводе се и у Немачкој. Кровна наборана фeroцементна љуска (пројекат Института за армирани бетон, Дрезден) (Слика 89), ширине 2.4m, распона 12m, дебљине 2.5cm (МВ45), армирана је са два слоја мреже, величине окаца 46x10mm, везане за скелетну арматуру.<sup>527</sup> Тежина љуске је 3.75t.



Слика 89. Наборана фeroцементна љуска, вађење из калуца. [Извор: Н. Rile, *Prostorne krovne kostrukcije* (Beograd: Građevinska knjiga, 1977), 234]

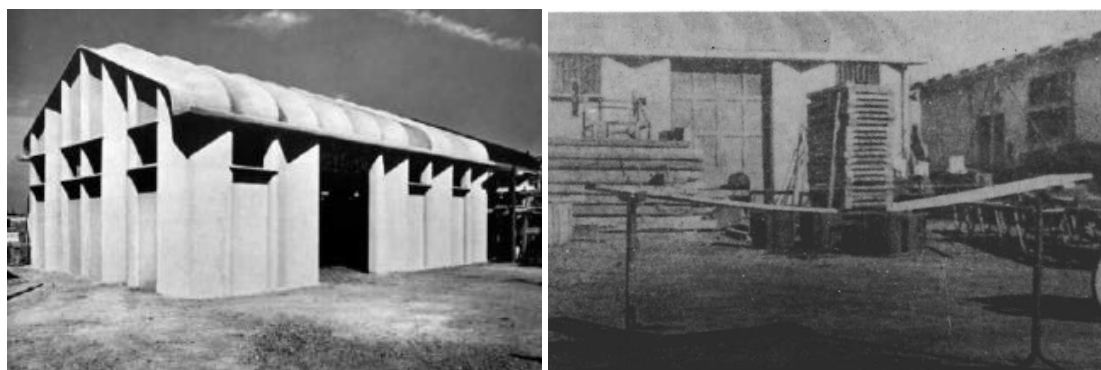
### **Фeroцементне љуске изведене применом арматурног система**

Као својеврстан експеримент, након реализације фeroцементних бродова, Пјер Луиђи Нерви први пут примењује фeroцемент за реализацију конструкције зграде 1945. године. У фeroцементу изводи закривљену зидну и наборано кровну конструкцију складишта (21mх12m) на плацу његове грађевинске компаније (Слика

<sup>526</sup> Rile, 238.

<sup>527</sup> Rile, 233-234.

90), у месту Ла Маљана, поред Рима.<sup>528</sup> Током градње складишта Нерви спроводи бројне експерименте на узорцима од фeroцементa, приликом којих уочава да материјал поседује велику еластичност и дуктилност (Слика 91). Уочио је да се материјал понаша скоро као хомоген, са приближном носивошћу на притисак и затезање. Feroцементне танке плоче, дебљине 3cm, су обликоване тако да остварују своју носивост при вертикалним и хоризонталним оптерећењима, кроз одговарајућу форму.



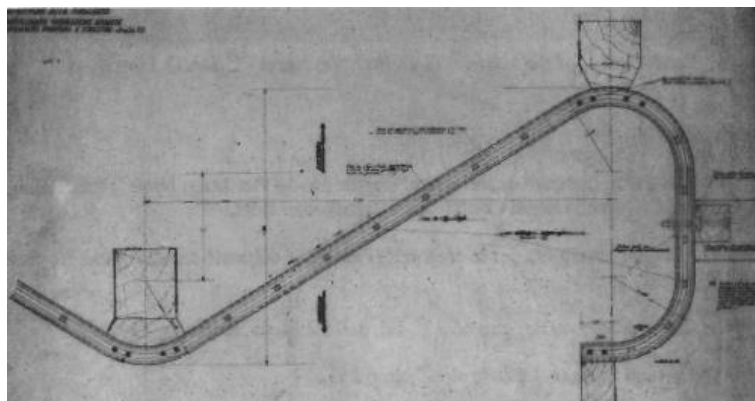
Слика 90. Пјер Луиђи Нерви, Складиште, „La Magliana“, 1945., фасада. [Извор: С. Greco, „The “Ferro-cemento” of Pier Luigi Nervi - The New Material and the First Experimental Building“, in *Proceedings of the IASS International symposium - Spatial Structures: Heritage, Present and Future*, ed. G.C. Giuliani, (SGEditoriali, 1995), 313]

Слика 91. Тестирање фeroцементне плоче током изградње складишта. [Извор: С. Greco, „The “Ferro-cemento” of Pier Luigi Nervi - The New Material and the First Experimental Building“, in *Proceedings of the IASS International symposium - Spatial Structures: Heritage, Present and Future*, ed. G.C. Giuliani, (SGEditoriali, 1995), 311]

Обзиром на то да је технологија грађења у фeroцементу елиминисала потребу за дрвеном оплатом, Нерви је био у могућности да ефективно реализује комплексни синусоидни облик зидова складишта (Слика 92). Зидови поседују „статичку сензитивност“, остварујући своју носивост кроз форму, а не кумулацију материјала. Квалитетан цементни малтер је наносен ручно, притискан са једне стране док не продре кроз мреже и изађе са друге стране, само у мери довољној за глачање, како би се остварила квалитетна завршна површина. За фeroцемент Нерви констатује да представља „истинску револуцију са аспекта изградње и естетике”.<sup>529</sup>

<sup>528</sup> Greco, „The “Ferro-cemento” of Pier Luigi Nervi - The New Material and the First Experimental Building“, 309-316.

<sup>529</sup> Nervi, *Costruzioni navali in cemento armato*. Quoted in Greco, “Ferro-cemento of Pier Luigi Nervi“, 311.



**Слика 92.** Попречни пресек коро зидове складишта. [Извор: С. Greco, „The “Ferro-cemento” of Pier Luigi Nervi - The New Material and the First Experimental Building“, in *Proceedings of the IASS International symposium - Spatial Structures: Heritage, Present and Future*, ed. G.C. Giuliani, (SGEditoriali, 1995), 315]

Складиште у месту Ла Маљана још увек постоји, са веома малим оштећењима, углавном услед продора воде, обзиром да није имало хидроизолационе слојеве, због потреба тестирања иновативне конструкције (**Слика 93**). Тестови узорака структуре су показали да је малтер у одличном стању, скоро без присуства прслина.<sup>530</sup>



**Слика 93.** Пјер Луиђи Нерви, Складиште, „La Magliana“, 1945., фасада, ентеријер. [Преузето са <http://www.nervi-film.com/buildings.html>, 16.5.2012.]

Миленко Милинковић примењује фероцемент у Србији, при реализацији куће у винограду (**Слика 94**), коју гради 1981. године.<sup>531</sup> Применом арматурног система изводи фероцементну куполу пречника 7m. Првобитно је формиран челични скелет од међусобно заварених арматурних шипки, за које су затим са спољне и унутрашње стране везане арматурне мреже у многобројним тачкама. Затим је нанет малтер са обе стране мреже истовремено.

<sup>530</sup> Greco, „The “Ferro-cemento” of Pier Luigi Nervi“, 315.

<sup>531</sup> Milinković, „Applications of ferrocement on terrestrial structures in Yugoslavia“, 381-388.



**Слика 94.** Милинковић, Кућа у винограду, 1981. [Преузето са [http://www.milinkovicco.com/preuzimanje\\_fajlova/slike/ostali\\_objekti/1.jpg](http://www.milinkovicco.com/preuzimanje_fajlova/slike/ostali_objekti/1.jpg), 2.6.2012.]

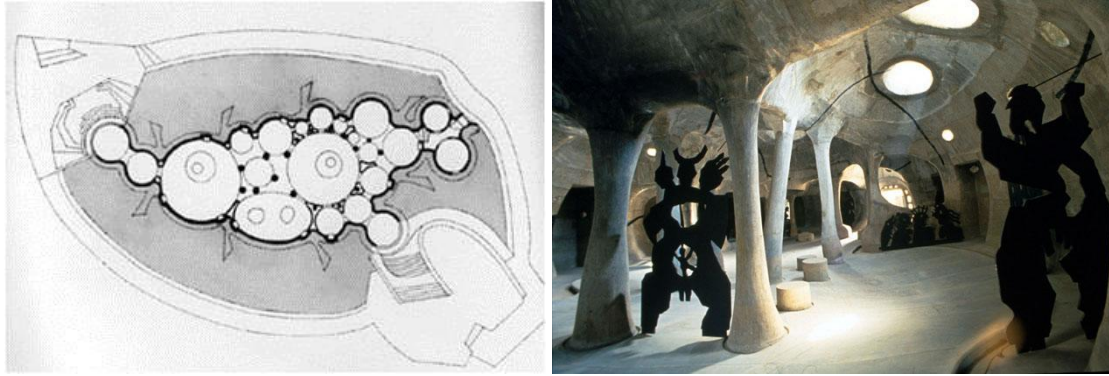
У Ахмедабаду, у Индији, 1993. године, архитекта Б. В. Доши реализује укопану уметничку галерију Хусеин Доши Гуфа (**Слика 95**). Кров галерије чине бројне међусобно повезане фероцементне куполе мањег распона, у виду љуски дебљине 2.5cm, ојачаних ребрима. Куполе су изведене применом арматурног система, помоћу ручног алата и два неквалификована радника.



**Слика 95.** Б.В. Доши, Хусеин Доши Гуфа, Ахмедабад, Индија, 1993., изградња, фасада. [Преузето са [http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos\\_2003-2/argamassa\\_armada/obras\\_5.htm](http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2003-2/argamassa_armada/obras_5.htm) и [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Amdavad\\_ni\\_gufa.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Amdavad_ni_gufa.jpg), 5.6.2012.]

Куполе галерије су ослоњене са једне стране на ободне зидове, а са друге на слободно распоређене нагнуте стубове, сличне онима који се могу срести у природним пећинама (**Слика 96**).





**Слика 96.** Б.В. Доши, Хусеин Доши Гуфа, Ахмедабад, Индија, 1993., основа, ентеријер. [Преузето са <http://arkistudentscorner.blogspot.com/2011/06/hussain-doshi-gufa-ahmedabad.html>, 10.6.2012.; <http://dkfawad.blogspot.com/2010/05/initial-inspirations.html>, 10.6.2012.]

Истраживачи Националног политехничког института, након петнаестогодишњег истраживања, развили су технологију градње која би требало да се користи за стамбене и јавне зграде у Мексику, кога одликују јаки земљотреси и урагани, засновану на фероцементу као јефтином материјалу који је функционалан, чврст и трајан.<sup>532</sup> Објекти су обликовани као компактне јединице, од љуски двоструке кривине (Слика 97), дебљине од 2-4cm, са ребрима за укрућење од фероцемента. Љуске се изводе без употребе оплате.



**Слика 97.** Национални политехнички институт у Мексику, Прототипови објеката. [Преузето са <http://noticias.universia.net.mx/vida-universitaria/noticia/2005/11/25/80749/venga-huracan.html>, 18.6.2012.]

Конструисани прототипови су показали изузетну отпорност на земљотресе и јаке ветрове. Констатовано је да се применом фероцемента, у односу на класичан армирани бетон, троши мање природних и економских ресурса. За извођење није потребна квалификована радна снага, специјална опрема, тешка механизација. Цена

<sup>532</sup> Montes, Ramirez, and Aquino, „La experiencia del CIIDIR IPN en proyectos de viviendas y edificios publicos de ferrocemento en Oaxaca, Mexico“, 419-426.

изградње је редукована 30-40%, у односу на конвенционалне системе. У оквиру истраживања, анализирани су и могућности примене рециклираних материјала из отпада, PET амбалаже и картона, који треба да се користе као изолација, за побољшање термичких перформанси фероцементних конструкција. У циљу постизања већег комфора у објектима, при њиховом обликовању били су укључени и принципи биоклиматске архитектуре, где су разматрани утицаји ветра, сунца, могућности природног осветљења, са циљем постизања енергетске ефикасности и редукције емисија угљендиоксида.<sup>533</sup>

У оквиру Интердисциплинарног центра за истраживања интегралног регионалног развоја, Национални политехнички институт поседује аудиторијум, чија је купола изведена од фероцемента (**Слика 98**). Купола аудиторијума пречника 24m и висине 12m. Пројектована је да издржи јаке земљотресе. Дебљина фероцементне љуске од 4cm се у зони 3m уз тло постепено повећава до 10cm. Отвор пречника 2m је формиран на врху куполе, како би се омогућила природна циркулација ваздуха. Купола има 16 ребара, на размаку од 4.5m. Ребра су изведена тако што је првобитно формирана “оплата” од фероцемента у коју је положена арматура и затим ливен класичан бетон на лицу места.<sup>534</sup>



**Слика 98.** Аудиторијум Националног политехничког института (CIDIIR), Оаксака, Мексико. [Преузето са <http://www.ciidroaxaca.ipn.mx/maestria/?q=node/47>, 23.6.2012.]

Библиотека Високе техничке школе у Хуајуапан де Леону, у Оаксаки у Мексику, (**Слика 99**) коју је пројектовао архитекта Хесус Санчез Лукењо, налази се у подручју високе сеизмичке активности. Фероцементна конструкција је изабрана због малог утрошка материјала, високе отпорности на дејство земљотреса и мањих

---

<sup>533</sup> Ibid.

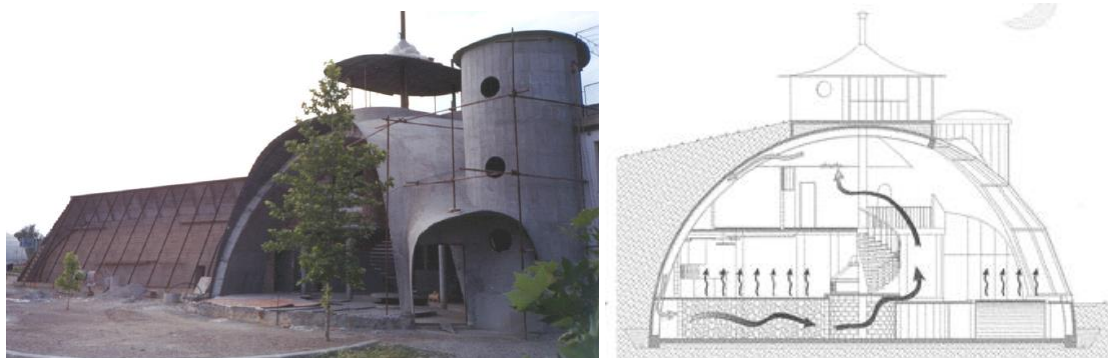
<sup>534</sup> Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*, 273.

трошкова изградње у односу на алтернативне системе. Такође, фероцемент је био материјал избора обзиром на могућност лаког обликовања и извођења двоструко закривљених кришки кровне конструкције у арматурном систему, који елиминише потребу за оплатом. Облик крова је произашао и из идеје о уштеди енергије, односно идеје о мањим губицима топлоте. Кришке крова су, између осталог формиране са идејом о прикупљању кишнице, дуж увала, обзиром на то да се објекат налази у полу-пустињској клими, где киша пада само у летњем периоду.



**Слика 99.** Хесус Санчез Лукењо, Библиотека Високе техничке школе, Хуајуапан де Леон, Оаксака, Мексико, изградња, фасада. [Преузето са <http://www.arquimaster.com.ar/galeria/obra77.htm>, 3.7.2012.]

Милинковић примењује фероцемент за реализују Соларне куће у Бољевцима у Србији (**Слика 100**).<sup>535</sup> У једном делу објекта формирана је цилиндрична љуска пречника 9m. У другом делу формирана је купола пречника 18m, изведена као двострука фероцементна љуска (дебљине 2-4cm), ојачана фероцементним ребрима.



**Слика 100.** Милинковић, Соларна кућа, Бољевци, изградња, фасада. [Преузето са [http://www.milinkovicco.com/preuzimanje\\_fajlova/download/Predavanje\\_Solarna\\_Kuca.pdf](http://www.milinkovicco.com/preuzimanje_fajlova/download/Predavanje_Solarna_Kuca.pdf), 12.7.2012.]

**Слика 101.** Двострука фероцементна љуска као део система за управљање токовима топлоте. [Преузето са <http://www.pasivnakuca.rs/images/stories/primeri/srbija/boljevac/02.jpg>, 12.7.2012.]

<sup>535</sup> Milinković, „Applications of ferrocement on terrestrial structures in Yugoslavia“, 381-388; Milinković, „Solar house – green technology – energy efficiency“, 49-57.

Купола је део система за управљање токовима топлоте (пасивног и активног) (Слика 101), реализованог са циљем унапређења енергетске ефикасности.<sup>536</sup> У зимском режиму, простор између фероцементних љуски се користи за дистрибуцију топлог ваздуха из унутрашњег простора, који се природним путем, као лакши, пење ка врху куполе (загревање ваздуха се зими остварује кроз директан захват сунчеве енергије преко велике стаклене површине оријентисане ка југу), односно његово преусмеравање (принудно, применом вентилатора) ка каменом складишту топлоте, које се налази у подруму. Термална инерција објекта, поред термалног складишта у подруму, постигнута је и применом бетона за израду свих конструктивних елемената (укупна тежина материјала са високим термалним капацитетом је 500t). Како би се очувала термална стабилност система и зими и лети, купола је већим делом покривена земљом. У летњем режиму блокира се упад сунчевих зрака у унутрашње просторе, преко инсталираних застора на стакленом делу фасаде, док се топао ваздух одводи у спољни простор у зони врха куполе.

Милинковић, 1999. године, гради складишну халу у Бољевцима (Слика 102), примењујући арматурни систем за извођење фероцементне љуске, што је захтевало велики утрошак времена, обзиром на димензије објекта.<sup>537</sup> Фероцементна љуска, распона 15.2m, висине 7.5 и дужине 65m, је ојачана монолитно везаним фероцементним ребрима, на размаку од 1.8m (Слика 103). Након формирања арматурног скелета, малтер је наносен обострано у тракама од 1.5m, од тла на горе, што је такође било временски захтевно. Током експлоатације објекта, поједина танка фероцементна ребра су се избочила и спроведено је њихово накнадно увезивање. Констатовано је да проблем избочавања захтева посебну пажњу при пројектовању фероцементних танкозидних елемената.

---

<sup>536</sup> Према прорачунима, пасивни и активни системи уграђени у Соларну кућу, омогућавају да се из других извора додаје само 20 kWh/m<sup>2</sup> на годишњем нивоу, што говори о високом степену њене енергетске ефикасности (Milinković, „Solar house – green technology – energy efficiency“, 57.

<sup>537</sup> Milinković, „Applications of ferrocement on terrestrial structures in Yugoslavia“, 381-388.



**Слика 102.** Милинковић, Складишна хала, Бољевци, 1999., фасада. [Преузето са [http://www.milinkovicco.com/preuzimanje\\_fajlova/slike/ostali\\_objekti/5.jpg](http://www.milinkovicco.com/preuzimanje_fajlova/slike/ostali_objekti/5.jpg), 15.7.2012.]

**Слика 103.** Милинковић, Складишна хала, Бољевци, 1999., ентеријер. [Преузето са [http://www.milinkovicco.com/preuzimanje\\_fajlova/slike/ostali\\_objekti/6.jpg](http://www.milinkovicco.com/preuzimanje_fajlova/slike/ostali_objekti/6.jpg), 15.7.2012.]

Правилна и симетрична композиција била је циљ и непознатог аутора, посвећеном одрживој градњи и истраживању алтернативних техника градње, који применом фероцемента, у арматурном систему, изводи кровне љуске у форми крстатог свода, над зидовима изведеним од врећа испуњених земљом, ојачаних фероцементом (**Слика 104**).



**Слика 104.** Фероцементне кровне љуске у форми крстатог свода. [Преузето са <http://annesley.wordpress.com/vaulted-dome-roof-project/>, 19.7.2012.]

Архитекта Анти Ловаг, инспирисан облицима из природе, на француској ривијери, реализује „Палату мехурова“ (**Слика 105**), за инвеститора индустријалца и покровитеља уметности, који је био фасциниран концептом „простора који живи“. Поред могућности слободног обликовања, Ловаг се за фероцементне љуске одлучује и због њихове отпорности на земљотрес. Љуске облаже полиуретаном и фибергласом. Ловаг-ов избор фероцемента, као материјала у коме ће реализовати своје замисли, произашао је из његовог интересовања за “човека, хумани

простор...креирање омотача око потреба човека“. „Ја радим као кројач, ја правим омотаче по мери. Омотачи су деформабилни”.<sup>538</sup>



Слика 105. Анти Ловаг, „Le Palais Bulles“, Теул Сур Мер, Француска, 1984., извођење, фасада, ентеријер. [Преузето са <http://laboratoireurbanismeinsurrectionnel.blogspot.com/2011/10/antti-lovag-architecte-anti-conformiste.html> i <http://bunnydell.tumblr.com/page/7>, 15.8.2012.]

Фероцемент примењује и мексички архитекта Хавиер Сеносиаин, чија је филозофија усмерена ка одрживој архитектури, интегрисаној са природом. Његови облици су резултат трагања за простором прилагођеном човеку и његовој суштинској природи.<sup>539</sup> „Органска кућа“ (La Casa Orgánica) (Слика 106), из 1985. године, у Наункаплану, у Мексику, конструисана је у фероцементу, за који Сеносиаин констатује да је „материјал изузетне пластичности који омогућава обликовање и вајање, скоро као са пластелином у рукама детета“.<sup>540</sup> Фероцемент је Хавиеру омогућио да постигне жељени континуитет простора и да уједно оствари чврсту, круту, стабилну и трајну конструкцију, уз минимум утрошеног материјала. За реализацију фероцементне конструкције двоструке кривине, примењен је арматурни систем. Преко, на овај начин формиране, фероцементне љуске, дебљине 4cm, нанет је танак слој прскане изолационе пене, хидроизолациони слој, као и слој земље дебљине од 15-20cm, како би се изнад „куће“ формирала башта. Слој земље уједно редукује флукуације температуре у унутрашњим просторима.

---

<sup>538</sup> P. Roche and C. Frapier, „Antti Lovag: Architecte Anti-conformiste“. *Laboratoire Urbanisme Insurrectionnel*. Accessed August 18, 2012.

<http://laboratoireurbanismeinsurrectionnel.blogspot.com/2011/10/antti-lovag-architecte-anti-conformiste.html>

<sup>539</sup> Senosiain, „Aguilar: Arquitectura organica“, 427-436.

<sup>540</sup> Ibid., 429.



**Слика 106.** Хавиер Сенсиаин, Органска кућа, Наункаплан, Мексико, 1985., идејна скица, изградња, “кроб”, ентеријер. [Преузето са <http://www.arquitecturaorganica.com/casa-orgaacutenica.html>, 20.8.2012.]

Примењујући исти систем градње као и у случају „Органске куће“, Сенсиаин реализује себи, 1990. године, делимично укопану кућу, названу „Ајкула“ (El Tiburón), коју одликују флуидни простори, без правих углова и ивица (**Слика 107**).



**Слика 107.** Хавиер Сенсиаин, Ајкула, Мексико, 1990., фасада, ентеријер. [Преузето са <http://www.arquitecturaorganica.com/el-tiburoacuten.html>, 22.8.2012.]

Сенсиаин у Мексику, 1990. године, реализује стамбени модул „Кикирики“ (El Casahuate). Конструкција модула је фероцементна љуска двоструке кривине, чиме је остварена крутост, уз минимални утрошак материјала. Обзиром на остварену лакоћу, модул је могуће транспортовати у комаду (**Слика 108**).



**Слика 108.** Хавиер Сеносиаин, Кикирики, Мексико, 1990., изградња. [Преузето са <http://www.arquitecturaorganica.com/el-cacahuate.html>, 23.8.2012.]

Примена фeroцементa је омогућила Сеносиаин-у да реализује унутрашње просторе сложене геометрије, у оквиру куће „Наutilus“ из 2007. године (**Слика 109**).



**Слика 109.** Хавиер Сеносиаин, Наutilus, Мексико, 2007., пресек, изградња. [Преузето са <http://www.arquitecturaorganica.com/nautilus.html>, 24.8.2012.]

Још један у низу пројеката, у оквиру Сеносиаин-ове еколошки одговорне архитектуре, који илуструје могућности „обликовања, чак и вајања“ у фeroцементу, је „Кецалкоатлово гнездо“ (Nido De Quetzalcoatl), из 2007. Године (**Слика 110**). „Пројекат је био лоциран на парцели неправилног облика...зелене зоне нису смеле бити дирнуте...одлучено је да се искористе падине и увале терана...“ Структура је изведена као туба ширине 8 и висине 6м, у виду двоструко закривљене фeroцементне љуске, дебљине 4 cm, споља топлоотно изоловане слојем полиуретанске пене.





**Слика 110.** Хавиер Сеносиан, Кецалкоатлово гнездо, Мексико, 2007., изградња, фасада, ентеријер.  
[Преузето са <http://www.arquitecturaorganica.com/nido-de-quetzalcoatl.html>, 24.8.2012.]

Фероцемент је био материјал избора и боливијском архитекти Мариу Москосоу за реализацију његових природом инспирисаних кућа, које треба да штеде енергију и које он назива „кућама живота“ (**Слика 111**).



**Слика 111.** Марио Москосо, Кућа живота. [Преузето са <http://www.moscosoarquitectura.com.bo/>, 1.9.2012.]

Швајцарски, еколошки оријентисан дизајнер Питер Веч, такође примењује фероцемент при реализацији конструкција слободних форми, које обавијају његове органске просторе, стопљене с природом (**Слика 112**). Фероцементне монолитне љуске чине органско јединство, обликовано према жељеном току кретања кроз простор и према специфичним карактеристикама терена из кога изничу. Ове љуске су прекривене слојем земље, коко би се ублажиле температурне промене у унутрашњим просторима.



**Слика 112.** Питер Веч, Earth House, Диетикон, Швајцарска, фасада. [Преузето са <http://www.homedit.com/earth-house-by-peter-vetsch/> i <http://www.tourismonthedge.com/culture/peter-vetsch-earth-homes-reminders-of-gaudis-architecture.html>, 12.9.2012.]

Могућност да реализују своје „снове“ применом фероцемента, препознали су и лаици, који овај материјал све више примењују у самоградњи (**Слика 113**). Разлог за примену фероцемента не лежи само у могућности слободног обликовања, већ и у његовој малој цени, имајући у виду елиминацију цене рада, затим и у његовој трајности и лакој одржавању.



**Слика 113.** Ентеријери кућа реализованих применом фероцемента у самоградњи. [Преузето са <http://www.flyingconcrete.com/>, 17.9.2012.]

Претходно описане, у потпуности монолитизоване фероцементне конструкције одликује велика отпорност на дејство јаких ветрова и земљотреса, током кога се понашају еластично и трпе минимум оштећења.<sup>541</sup> Обзиром на наведено својство, ове конструкције су све више у употреби, у оквиру пројеката који

---

<sup>541</sup> Fernandez and Cano, „Seismic characteristics of low-cost ferrocement monolithic housing“, 137 – 142; Fernandez, „A monolithic earthquake-resistant ferrocement building of conventional architecture“, 275-279.

имају за циљ реализацију објеката отпорних на земљотресе и урагане. Један од таквих пројеката је била и реализација обданишта у Мексику, где је поред отпорности на ветар и земљотрес захтевана и економски приступачна конструкција, одговарајуће трајности, уз минимум одржавања.<sup>542</sup> Конструкција објекта спратности П+1, изведена је као монолитна фeroцементна љуска, дебљине 4 cm, ојачана ребрима. Након формирања арматурног скелета, који је обликован према жељеном облику зграде и ојачан у зонама отвора, врата и прозора, приступило се малтерисању у тракама висине 1.5m, од тла на горе. Преко плафонских двоструко закривљених фeroцементних љуски је нанет материјал из отпада, како би се реализовала равна подна површина и уједно осигурала адекватна термална и акустичка својства међуспратне таванице. Обзиром на то да је конструкција зграде обданишта била лака у односу на традиционалне (само 20% од тежине коју би имала зграда од блокова за зидање и армиранобетонских серклажа и греда), могла је да буде изведена без претходног ојачавања слабог тла на које се ослања и уз израду мањих и лакших темеља. Цена градње је била пола од вредности традиционалних система (али уз велики утрошак рада). Кућа је остала неоштећена након земљотреса од 7.4 Рихтера.<sup>543</sup>

#### **Фeroцементне љуске изведене системом интегралне оплате**

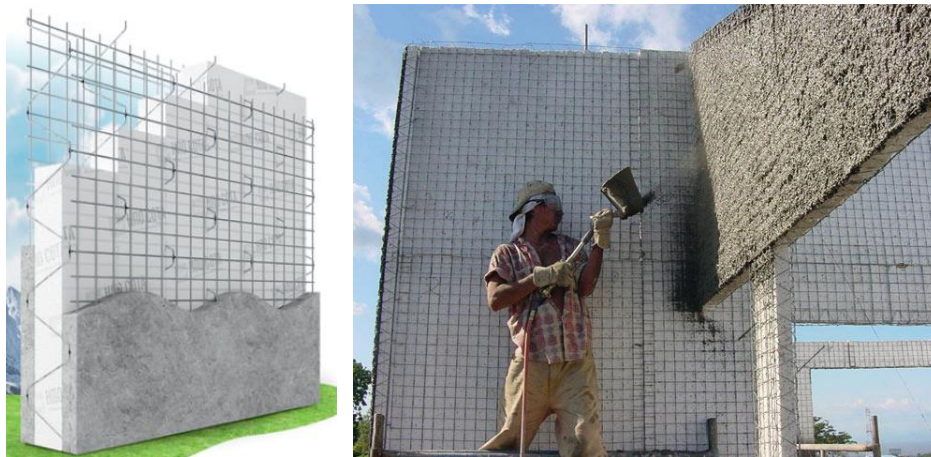
Последњих деценија, све више је у употреби систем градње заснован на примени посебне форме фeroцементна (један слој мреже са већим пречником жице и већим отворима, у односу на стандардни фeroцемент). Систем се заснива на реализацији двоструке фeroцементне љуске са интегралном оплатом у виду панела полистирена са уграђеном арматуром (системи под заштићеним именом 3D Panel, TridiPanel, COTA...) (Слика 114). На лицу места се лаки панели полистирена, исечени у жељени облик, ручно постављају у жељени положај и аутоматски повезују арматуром, након чега се приступа машинском или ручном наношењу малтера. На овај начин се реализује сендвич конструкција, коју чине две монолитне фeroцементне љуске (дебљине од 3-5cm), међусобно повезане арматуром, са изолационом испуном. Укупна дебљина панела варира од 10-20cm. Систем се примењује за израду свих носећих елемената зграда, зидова, међуспратних и кровних

---

<sup>542</sup> Fernandez, „A monolithic earthquake-resistant ferrocement building of conventional architecture“, 275-279.

<sup>543</sup> Ibid., 278.

таваница, степеништа, ограда, у било ком жељеном облику. Уколико нема посебних ојачања, систем је погодан за објекте спратности до П+1.



**Слика 114.** Систем двоструких фероцементних љуски са интегралном оплатом (систем COTA™).  
[Преузето са <http://www.opalubka-info.ru/technology-intro.html>, 4.1.2013.]

Реализација објеката у овом систему градње не подразумева примену тешке грађевинске опреме. Објекти се граде брзо, уз могућност ангажовања и неквалификоване радне снаге. “Волонтери, квалификовани и неквалификовани, брзо напредују како би завршили 14 кућа у 14 дана”.<sup>544</sup> Систем превазилази проблеме везане за примену стандардних сендвич панела, као што су фиксирање сендвич панела током монтаже, њихово међусобно спајање и остварење њихове везе са осталим носећим елементима система. Посебан квалитет овог система тиче се и његове флексибилности, односно могућности слободног обликовања конструкције, у складу са формом жељеног простора (могу се извести и сложене геометрије адекватним кројењем и уклапањем делова полистиренских панела). Поред наведеног, битна предност овог система је његова монолитност, која обезбеђује већу крутост и стабилност, за исту количину материјала. Систем одликује структурална ефикасност, заснована на томе што је носећи фероцемент позициониран тако да се добија максимални моменат инерције попречног пресека. Систем има већи однос носивости према утрошеном материјалу и односу на конвенционалне системе.<sup>545</sup> Ова технологија користи око пола количине цемента и челика у односу на систем са

---

<sup>544</sup> M.K. Hurd, *Welded wire sandwich panels shotcreted: Habitat for Humanity builds 14 homes in 14 days* (The Aberdeen Group, 1991).

<sup>545</sup> Tat and Qian, „Elastic Stiffness Properties and Behaviour of Truss-Core Sandwich Panel“, 552- 559.

шупљим бетонским блоковима као уграђеном оплатом,<sup>546</sup> у оквиру којих је носећи бетон лоциран у средини попречног пресека. Обзиром на мању тежину елемената, редукују се и димензије осталих делова конструкције, посебно темеља, што омогућава градњу на теренима слабије носивости. Редукција тежине конструкције редукује и ризике од оштећивања при земљотресу. Обзиром на монолитност система и дуктилност материјала, у поређењу са стандардним системима градње редукована је могућност појаве пукотина и неравномерног слегања. Систем је погодан за употребу у подручјима високе сеизмичке активности. Механичко понашање система, а пре свега њихов структурални интегритет и потпуно искоришћење њиховог сложеног попречног пресека при дејству оптерећења, зависи пре свега од оствареног заједничког рада слојева, условљеног начином спајања. Пречник жица арматуре мреже и пречник шипки везних арматурних решетки, варира према жељеној чврстоћи и крутости панела. У случају примене система за израду међуспратних таваница, у доњој фeroцементној плочи је потребно додати посебно прорачунату арматуру у виду арматурних шипки, као и додатна ребра, са циљем за повећања носивости на савијање.<sup>547</sup> Двострука фeroцементна љуска, са интегралном изолацијом, поседује адекватна звучноизолациона својства. Систем поседује адекватну топлотну отпорност. Обзиром на то да се систем изводи без серклажа, елиминисан је проблем термичких мостова ( $R$  вредност је и до 40% већа него у случају конвенционалних рамовских система). Обзиром на наведено, редукује се енергија за грејање и хлађење објеката.<sup>548</sup> Фeroцементни композитни склоп, изведен у малтеру високог квалитета, поседује адекватна хидроизолациона својства, отпоран је на утицаје влаге (не деформише се) и поседује адекватну отпорност на пожар. У појединим земљама је имплементација овог ефикасног система ограничена скупом опремом која је потребна за производњу полистиренских панела са интегралном арматуром (сто за производњу панела).

---

<sup>546</sup> Matthew Stein, *A Manual for Self-Reliance, Sustainability, and Surviving the Long Emergency*, 178.

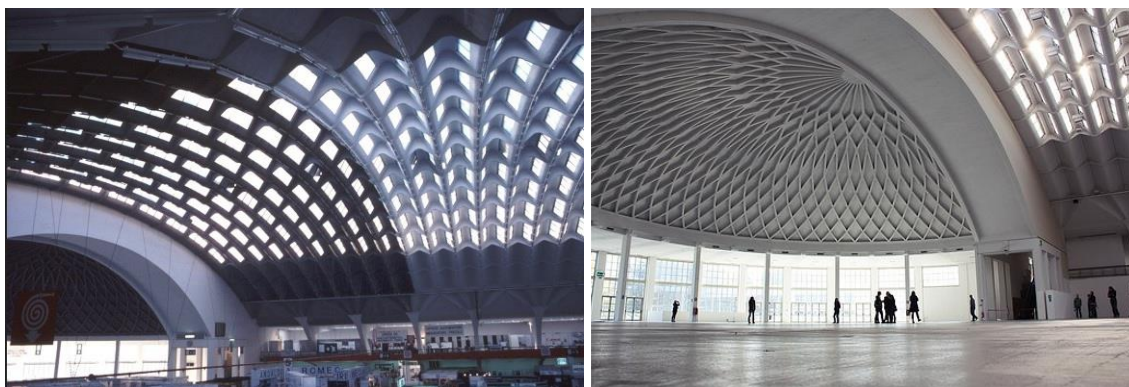
<sup>547</sup> Anwar, Warnitchai, and Keerati, „Analysis and design of sandwich panel structures“, 232.

<sup>548</sup> Систем испуњава захтеве Савезног закона о уштеди енергије и енергетској ефикасности, кога је усвојила Државна Дума Русије, 2009. године.

### 3.12.2 Конструкције засноване на садејству фeroцементa и других конструктивних материјала

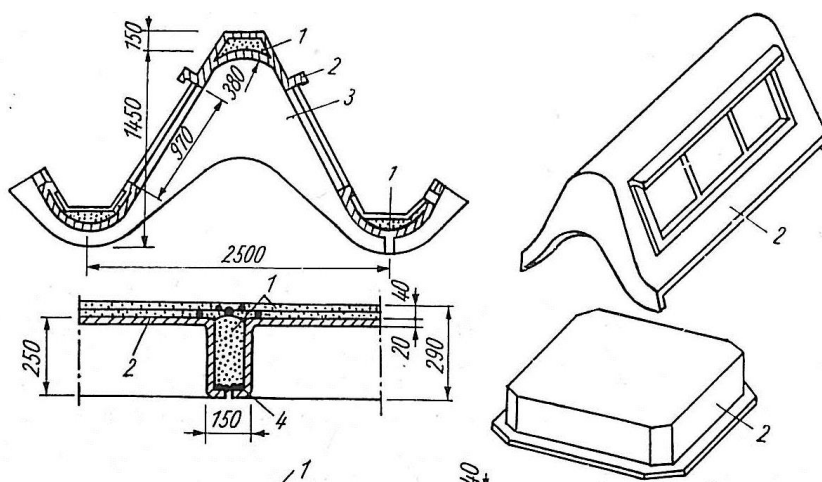
#### Конструкције засноване на садејству фeroцементa и класичног армираног бетона

Конструкција централне хале изложбеног комплекса у Торину, из 1948. године, Пјер Луиђи Нервија, заснована је на садејству фeroцементa и класичног армираног бетона (Слика 115).



Слика 115. Пјер Луиђи Нерви, Централна хала изложбеног комплекса, Торино, 1948., ентеријер.  
[Преузето са [http://urbanthinker.com/wp-content/uploads/2012/05/4\\_NerviTurinExpo1948.jpg](http://urbanthinker.com/wp-content/uploads/2012/05/4_NerviTurinExpo1948.jpg), 19.10.2012.;  
<http://www.worldarchitecturemap.org/buildings/agnelli-exhibition-hall>, 19.10.2012.]

Нерви користи фeroцемент за израду префабрикованих кровних елемената хале (Слика 116), који имају двоструку улогу: улогу носећих елемената и улогу уграђене оплате за извођење армиранобетонских ребара и армиранобетонских љуски на лицу места.



Слика 116. Елементи лука централне хале изложбеног комплекса у Торину. 1- армирани бетон ливен на лицу места; 2- префабриковани елемент од фeroцементa; 3- попречна дијафрагма префабрикованих фeroцементних елемената; 4- арматура у оквиру армиранобетонског ребра ливеног на лицу места.

[Извор: Н. Rile, *Просторне кровне конструкције* (Београд: Грађевинска књига, 1977), 230]

У време када Нерви гради халу, бетонске љуске су најчешће извођене применом дрвене оплате у целој површини љуске, што је, посебно у случају сложених облика и већих површина, био материјално и временски захтеван процес. Употребом фeroцементa било је могуће извести кровну конструкцију од префабрикованих елемената, који су постављани на помичне скеле, чиме је убрзан процес градње.<sup>549</sup> У главном делу хале, цилиндричног пресека, распона 96m, након постављања валовитих фeroцементних елемената (дебљине љуске 3.75cm) на скеле, монтирана је додатна стандардна арматура у виду челичних шипки, у зони грбина и увала фeroцементних елемената. На лицу места је, у тим зонама, ливен бетон, чиме су формирана армирано бетонска ребра. Како би се остварио континуитет, односно носећа веза између фeroцементних елемената, они су формиран са испуштеном арматуром која је затим повезивана.<sup>550</sup> Како би се избегли проблеми нестабилности, током монтаже и експлоатације, фeroцементни елементи су изведени са попречним дијафрагмама, које након монолитизације конструкције попримају улогу спрегова. Просечна дебљина целог свода, распона 96m, не прелази 8cm, што указује на изузетну ефикасност примењеног система. Валовити фeroцементни елементи су формиран са отворима, тако да је омогућено природно осветљење хале. Ови елементи нису захтевали посебно облагање, обзиром да је фeroцемент водонепропустан материјал.<sup>551</sup> У делу хале, обликованом као део куполе распона 40m, Нерви користи префабриковане фeroцементне елементе ромбоидног облика, дебљине плоче 2cm. Након монтирања елемената на скелу, у канале између елемената се поставља челична арматура. Ливењем бетона на лицу места, преко фeroцементних елемената, изводе се армиранобетонска ребра и бетонска љуска дебљине 4cm. Обзиром на то да је остварен континуитет арматуре испуштене из горње и доње зоне фeroцементних елемената, формирана је композитна конструкција, у којој фeroцемент и класични армирани бетон заједно функционишу као љуска (укупне дебљине 6cm) ојачана ребрима.<sup>552</sup>

---

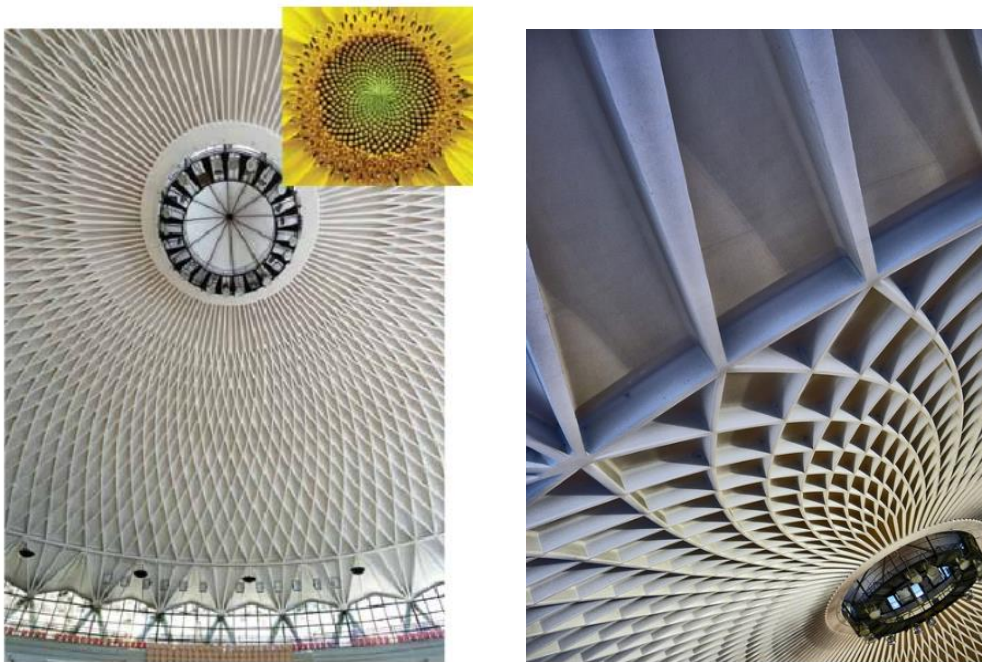
<sup>549</sup> Huxtable, *Pier Luigi Nervi*, 20.

<sup>550</sup> Nervi, *Aesthetics and Technology in Building*, 121.

<sup>551</sup> Tampone and Ruggieri, „Structural invention and production process in the Pier Luigi Nervi's work“, 1921-1929.

<sup>552</sup> Nervi, *Aesthetics and Technology in Building*, 125.

Технологију коју је применио на централној хали изложбеног комплекса у Торину, Нерви примењује у великом броју својих каснијих остварења која „задовољавају економске и естетске захтеве“.<sup>553</sup> Међу овим остварењима је и мала Хала спортова у Риму (Слика 117 и Слика 118). Кровна структура, у облику ротационе површи, формирана је од префабрикованих фероцементних елемената и бетона ливеног на лицу места.



Слика 117. Пјер Луиђи Нерви, Мала Хала спортова, Рим, 1957., ентеријер. [Извор: М.А. Chiorino, „Art and Science of Building in Concrete: The Work of Pier Luigi Nervi“, *Concrete International*, march 2012, 36]

Слика 118. Пјер Луиђи Нерви, Мала Хала спортова, Рим, 1957., ентеријер. [Преузето са <http://flickrhivemind.net/Tags/nervi,roma/Timeline>, 28.10.2012.]

Конфигурација ребара у оквиру мале Хале спортова је по Нервију „примарно естетска и архитектонска одлука“.<sup>554</sup> Поједини аутори доводе у везу Нервијеву конфигурацију ребара са органском морфологијом (Слика 117), која омогућава ефикасан ток сила кроз конструкцију.<sup>555</sup> Примена префабрикованих фероцементних елемената, који су могли да буду прецизно и квалитетно изведени, са глатким површинама (Слика 118), омогућила је Нервију да постигне, поред комплексне

---

<sup>553</sup> Nestorović, *Konstruktivni sistemi*, 43.

<sup>554</sup> Nervi, *Aesthetics and Technology in Building*, 139.

<sup>555</sup> Chiorino, „Art and Science of Building in Concrete: The Work of Pier Luigi Nervi“, 32-40; Leslie, „Form as Diagram of Forces: The Equiangular Spiral in the Work of Pier Luigi Nervi“, 45-54.



геометрије и техничко савршенство, које је он сматрао битном одликом сваког уметничког дела.<sup>556</sup>

Наведене Нервијеве реализације указују на то да је фероцемент могуће успешно применити у садејству са класичним армираним бетоном. Формирањем композитног система, унапређује се процес грађења, унапређују визуелна својства конструкције, постижу боље механичке карактеристике и трајнија конструкција, него што би био случај при примени искључиво класичног армираног бетона. Новија истраживања потврђују Нервијеве претпоставке да композитни систем, кога чине фероцемент и класични армирани бетон, и у погледу механичког понашања, користи предности сваког компонентног материјала на најбољи начин. Употреба фероцемента у затегнутој зони доприноси већој дуктилности и носивости елемената, као и мањој ширини и размаку прслина.<sup>557</sup>

Зграда Шлумбергер лабораторије у Кембриџу, из 1992. године, је још један успешан пример примене фероцемента у садејству са класичним армираним бетоном и Нервијевих принципа градње.<sup>558</sup> Међуспратна конструкција изнад приземља је реализована као видна (**Слика 119**). Формирана је од белих фероцементних префабрикованих елемената, као уграђене оплате, обликованих у складу са жељеним комплексним обликом и распоредом примарних и секундарних армиранобетонских ребара, и бетона ливеног на лицу места. Пројектанти су закључили да би жељени облик и квалитет завршне површине било тешко реализовати на било који други начин. Фероцемент им је омогућио да реализују носеће елементе уз истовремено избегавање сложених проблема које постоје у случају натур бетона ливеног на лицу места у оплатама.

---

<sup>556</sup> Ibid., 3.

<sup>557</sup> Nassif and Najm, „Experimental and analytical investigation of ferrocement–concrete composite beams“, 787–796; Al-Kubaisy and Jumatt, „Crack control of reinforced concrete members using ferrocement tension zone layer“, 490–499.

<sup>558</sup> Dickson and Gregson, „The Laboratory for Schlumberger Cambridge Research“, 1443-1451.



**Слика 119.** Хопкинс Аритекти, Шлумбергер Кембриџ [Извор: D. Walker, H. Edmund, A. William, *Happold: The Confidence to Build* (Happold Trust Publications Limited, 1997)]

На садејству фероцемента и класичног армираног бетона, заснован је и „МС sistem“ градње, инжењера Миленка Милинковића, који је примењен за реализацију хала у Србији (**Слика 120**).<sup>559</sup>



**Слика 120.** Грађење хале у МС систему градње. [Преузето са [http://www.milinkovicco.com/preuzimanje\\_fajlova/slike/hale/izgradnja/7.jpg](http://www.milinkovicco.com/preuzimanje_fajlova/slike/hale/izgradnja/7.jpg), 4.11.2012.]

**Слика 121.** Спортска хала у Сталаћу изведена применом МС система градње, ентеријер [Преузето са [http://www.milinkovicco.com/preuzimanje\\_fajlova/slike/hale/enterijer/3.jpg](http://www.milinkovicco.com/preuzimanje_fajlova/slike/hale/enterijer/3.jpg), 4.11.2012.]

МС систем градње је заснован на префабрикацији сендвич носећих елемената.<sup>560</sup> Сендвич елементи се изводе у контролисаним, фабричким условима, применом система затворене оплате. Елементи се израђују у облику фероцементне плоче, дебљине 3cm, са ивичним армиранобетонским ребрима. Елементи су димензија 3.8x1.9m. У току израде фероцементне плоче, на још увек свеж малтер се наноси слој Симпролита, патентираног лаког бетона (са полистиренским лоптицама).

<sup>559</sup> Milinković, „Experience with prefabricated ferrocement panels for the construction of ferrocement halls“, 11-19.

<sup>560</sup> Ibid.

На крају се додаје завршни слој дебљине од 2cm малтера армираног влакнима.<sup>561</sup> Сендвич елементи се на градилишту монтирају на лучну челичну скелу (**Слика 121**). Елементи се у подужном правцу постављају на размаку у оквиру кога се поставља додатна оплата и арматура за лучне армиранобетонске носаче, који се затим лију на лицу места. Ови лучни носачи су примарни носећи елементи конструкције хале, за које су фероцементни префабриковани елементи везани преко испуштене арматуре у процесу префабрикације. Фероцементни елементи не захтевају малтерисање, па се завршна обрада конструкције већим делом своди на унутрашње бојење и постављање хидроизолације на спољној површини.

UMIST (The University of Manchester Institute of Science and Technology) спровео је истраживања на тему употребе композитних греда, обликованих савијањем арматурних мрежа према жељеном профилу греде.<sup>562</sup> Арматурне мреже преузимају улогу узенгија у класичним армиранобетонским гредама. Облик носача је сличан профилима челичних носача, где су јасно одвојене притиснута и затегнута зона уз велику уштеду материјала, а са истим карактеристикама. Арматурне мреже се савијају у жељени облик и затим се приступа ливењу малтера. Мреже су обликоване тако да се у затегнутој зони формира простор за смештај додатне затегнуте стандардне арматуре у виду шипки.

### **Конструкције засноване на садејству фероцемента и челика**

Инжењер Роке Мендес Баеза изводи у Јукатану нови тип кровне конструкције у виду композитног склопа, кога чине челични решеткасти носачи у садејству са фероцементном „опном“. Укупно 15 набора покрива полукружну површину (**Слика 122**). Набори су распона су 22m. Сваки набор је димензија 4.2x6.2m и формиран је као 3D решетка од челичних профила, за коју је са горње стране везана скелетна арматура у подужном правцу, преко које долази слој галванизоване жичане мреже, након чега се врши уграђивање малтера у слоју од 2cm. Малтерска смеша је патентирана, са додатком влакана агаве, која даје флексибилност, боље пријањање и

---

<sup>561</sup> Mi. Milinković and Ml. Milinković, „Sustainable ferrocement sports hall“, 471-480.

<sup>562</sup> Nedwell, „National progress report: UK“, 333-339.

контролу прелина. Слој фeroцементa монолитизује структуру, што доприноси њеној већој структуралној ефикасности и уштеди у материјалу.<sup>563</sup>



**Слика 122.** Наборана кровна конструкција формирана као композитни склоп. [Преузето са <http://yucatan.com.mx/multimedia/valladolid-se-une-en-un-sueno-2-galeri>, 8.11.2012.]

У оквиру пројекта развоја нових технологија за потребе стамбене изградње у Сингапуру (HDB – Housing & Development Board), фeroцемент је примењен, између осталог, за изградњу композитних система од челичног скелета и фeroцементa дебљине 2.5-3cm.<sup>564</sup> Елементи се формирају путем везивања галванизованих арматурних мрежа за галванизовани челични скелет, након чега се врши уграђивање малтера. Овим је фeroцемент монолитно везан за челични скелет ,у виду “опне”, и учествује у ношењу оптерећења. Фeroцементна “опна” доприноси већој крутости система уз мањи утросак материјала. Остварена је 60% мања тежина конструкција од оних коју би имале класичне бетонске. Цена овог типа конструкције је 50% већа у односу на еквивалентне израђене у класичном бетону, али без обзира на то овај систем је од 1996. године усвојен за многе пројекте у Сингапуру, обзиром на квалитет завршне површине и непостојање спојева и веза подложних пропадању, које карактеришу класичне панелне системе. Даљи развој примене фeroцементa у Сингапуру тиче се истраживања могућности примене полимера у цементној мешавини како би се унапредила својства малтера, његова еластичност и чврстоћа, чиме би се могла смањити његова дебљина, као и количина потребне арматурне мреже у склопу система. Такође у Сингапуру су тренутно у току истраживања која треба да допринесу побољшању термоизолационих својстава фeroцементa, као и истраживања везана за примену интегралних боја у фeroцементa, путем интеграције пигмената у малтерску смешу, што би водило ка могућности лакшег очувања

---

<sup>563</sup> Baeza, „Estructura laminar compuesta“, 495-500.

<sup>564</sup> Lau et al., „Development of ferrocement products for public housing construction“, 271-286.

визуелних својстава конструкције током животног века.<sup>565</sup>

На истом принципу садејства фероцемента и челика заснован је и систем, аутора архитекте Ангус Мекдоналда, коме је циљ грађење “одрживих, енергетски ефикасних и трајних склоништа, приступачних свим људима”.<sup>566</sup> Меконалд развија систем који треба да превазиђе недостатке панелних система. Констатује да је у панелним системима тешко остварити континуитет конструкције, посебно значајан за сеизмички активна подручја. Такође, временом спојеви панела слабе, посебно они остварени применом вијака. Спојеви панела су осетљива места и када је у питању дејство воде и влаге. Поред наведеног, Мекдоналд сматра да панелни систем могу бити неадекватни у визуелном смислу, обзиром на то да могу асоцирати на јефтину градњу.<sup>567</sup> Систем који је развио као одговор на наведена ограничења и недостатке постојећих система патентирао је 1996. године и назвао Am-cor System™ (Слика 123). На лицу места се помоћу завртњева (за потребе монтаже) у жељени облик међусобно повезују галванизовани хладно обликовани челични профили, чији се чворови затим заварују на лицу места (на свако место заваривања се поново наноси галванизујући слој, обзиром да топлота уклања оригинални). За скелет од челичних профила се затим везују арматурне мреже, тако да се након малтерисања добија континуална, бешавна, високо армирана фероцементна “опна”. Формула за адитивима унапређену цементну мешавину је патентирана.



Слика 123. Објекат у Am-cor систему, у фази градње. [Преузето са <http://www.am-cor.com/galleries/gallery/construction/>, 16.11.2012.]

<sup>565</sup> Lau et al., Development of ferrocement products for publichousing construction“, 271-286.

<sup>566</sup> A.W.Macdonald, „Inventor's Story“. Accessed January 25, 2012. <http://www.am-cor.com/system/inventors-story>

<sup>567</sup> Ibid.

Фероцементна “опна” након очвршћавања постаје елемент који заједно са елементима челичног оквира чини композитну монококну љуску (монолитна, оребрена љуска), сличну оној у бродском трупу, аутомобилским каросеријама или авионима. Применом Am-cog система остварује се чврста, крута и стабилна конструкција, отпорна на дејства поплава, јаких ветрова и земљотреса. За разлику од конструкција изведених у класичном армираном бетону, које имају велику сопствену тежину и мању дуктилност, код којих при дејству земљотреса може доћи до лома елемената, у случају Am-cog система чак и у случају екстремних оптерећења долази само до деформисања конструкције. Применом Am-cog система градње остварује се врло ефикасна употреба материјала, са високим односом чврстоће према тежини.<sup>568</sup> Обзиром на то да фероцементна “опна” доприноси равномернијој расподели сила, које се више не концентрише само у челичним профилима, као и да редукује њихову дужину извијања, сами челични профили могу имати мањи попречни пресек у односу на системе остварене само применом носећег челичног рама. Такође, обзиром на присуство фероцементне “опне”, која има улогу дијафрагме, нису потребна посебна укрућења система за дејство хоризонталних сила. Обзиром на близак размак челичних профила, оптерећење се равномерније преноси на тло, па нису потребни масивни темељи. Наведено, заједно са тим да је конструкција лакша од стандардних, омогућава изградњу и на теренима мање носивости.<sup>569</sup> Елементи система су погодни за транспорт, обзиром на њихову лакоћу и могућност паковања на мало простора. Систем одликује једноставан процес градње, без компликованих детаља. Елементи се могу лако спајати на градилишту и од стране власника или локалних извођачких фирми (технолошки мало захтеван процес). Градња је енергетски мало захтевна. Систем је такав да се генерише минимум отпада током градње, обзиром на то да сви елементи могу бити фабрички исечени према спецификацијама. Конструкција је трајна и захтева минимум одржавања током животног века. Обзиром на то да је фероцементна љуска бешавна она не дозвољава инфилтрацију ваздуха, и погодна је за заптивене куће. Систем даје могућност реализације концепата најразличитијих величина, облика и текстура, што потврђује његова примена у случају градње објеката различитих намена, стамбених, пословних зграда, ресторана, индустријских

---

<sup>568</sup> Објекти у овом систему су се показали као 2-3 пута чврћи од класичних зиданих са армиранобетонским серклажима, уз истовремену употребу 80% мање материјала.

<sup>569</sup> Macdonald, „Ferro-Cement Coatings on Panelized Lightweight Steel Frame Structures“, 415-420.

и пољопривредних објеката, школа, болница, хотела.”Формула фeroцементног инжењерства се показала као оптимални баланс брзине градње, мале цене и квалитета градње.”<sup>570</sup>

Кровна конструкција у оквиру пројекта Менара Сигер у Лампунгу у Индонезији (Слика 124), из 2005. године, такође је изведена као композитна конструкција која се заснива на садејству фeroцементa и челичних елемената.<sup>571</sup> Кровна конструкција, над површином основе од 50x18m, укупне површине од 3000m<sup>2</sup>, изведена је у фазама. Прво су монтирани челични носачи за које је затим заварена скелетна арматура будућих љуски у облику хиперболичног параболоида. За скелетну арматуру је затим везана мрежна арматура, у 6 слојева (три са горње и три са доње стране) (Слика 125).<sup>572</sup> Почетна идеја да се фeroцементне љуске изведу преко армиранобетонских носача је одбачена због комплексних детаља који се тичу монолитизације система, односно увезивања арматуре из бетонских елемената и скелетне арматуре фeroцементне љуске. У завршној фази спроведено је ручно, обострано уграђивање малтера. Дебљина фeroцементних љуски је 3cm. Малтерској смеси су додати ретардери. Нега фeroцементa спроведена је употребном мокрих врећа, како би се спречила појава прелина у случају брзог сушења. На крају су фeroцементне љуске обојене.

---

<sup>570</sup> A.W. Macdonald, „Inventor's Story“. Accessed January 25, 2012. <http://www.amcor.com/system/inventors-story>

<sup>571</sup> Djausal and Bauzoni, „Two stages of construction of Menara Siger ferrocement structure“, 463-470.

<sup>572</sup> Облик хиперболичног параболоида, усвојен је зато што његова геометрија може бити формирана од низа правих линија, тј. translацијом праве линије дуж две праве линије на крајевима, односно током извођења translацијом скелетне арматуре (Djausal, „Experimental studies on behaviour of thin hyper structures under hydrostatic load“, 405-411).



**Слика 124.** Хиперболичне фероцементне љуске у фази градње, Менара Сигер, Лампунг, Индонезија, постављање скелетне и мрежне арматуре. [Извор: А. Djausal and Bauzoni, „Two stages of construction of Menara Siger ferrocement structure“, in *Ferro-9 - Proceeding of the 9<sup>th</sup> International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites: Green Technology for Housing and Infrastructure Construction*, ed. А. Djausal, F. Alami, and А. Е. Naaman (Bandar Lampung: The University of Lampung, 2009), 465]

**Слика 125.** Аншори Џозел, Менара Сигер, Лампунг, Индонезија, 2005., фасада. [Преузето са <http://rri.co.id/index.php/berita/59647/Pemprov-Lampung-Targetkan-Menara-Siger-Selesai->, 18.3.2013.]

Према речима архитекте Аншори Џозела коришћење технологије фероцементна омогућило је формирање структуре која је отпорна на јаке ветрове и земљотресе. Такође, применом фероцементна остварена је уштеда у цени од 25% у односу на цену коју би имала конструкција у класичном армираном бетону, под условом да би се уопште могла рационално и једноставно извести на овај начин.<sup>573</sup>

Успешно садејство фероцементна и челичних структура, посебно са аспекта монолитизације структуре и уштеде у количини материјала, уочио је и Ј.А. Десаи, који у Индији већ током последње три деценије примењује фероцемент за градњу објеката различитих намена.<sup>574</sup> За разлику од претходних решења, где се фероцемент израђује на лицу места, Десаи за формирану челични рам везује префабриковане фероцементне плочасте елементе, путем заваривања из панела испуштене арматуре. Затим се спојеве заливају малтером. На овај начин се остварује монолитна веза, без завртњева и шупљина. Такође, се и убрзава процес градње, обзиром на избегавање временски захтевне уградње малтера на лицу места. Десаијеве конструкције, било да су изведене са челичним или фероцементним ребрима, обзиром на примењени принцип монолитизације, односно јединствене “опне”, функционишу као љуске

<sup>573</sup> Извођење у класичном армираном бетону би подразумевало извођење комплексних оплата и већу дебљину попречног пресека, већу сопствену тежину крова и веће хоризонталне силе које се преносе на ослоначку прстенасту греду.

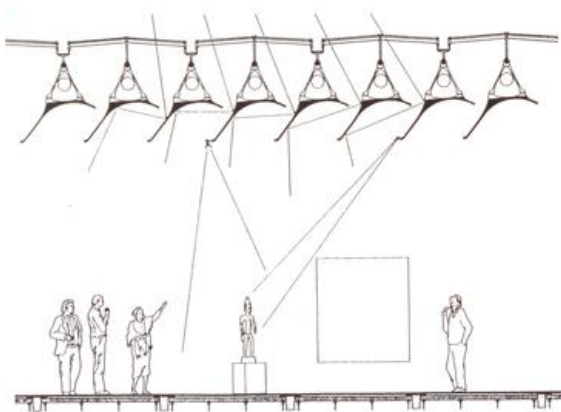
<sup>574</sup> Desai, „Precast ferrocement structurals in lieu of rolled steel structurals“, 455-462.



ојачане ребрима, слично бродској конструкцији или конструкцији авиона, поседујући изузетну крутост и унапређено механичко понашање уз истовремену уштеду у материјалу.

### **Конструкција заснована на садејству фeroцементa и дуктилног ливеног гвожђа**

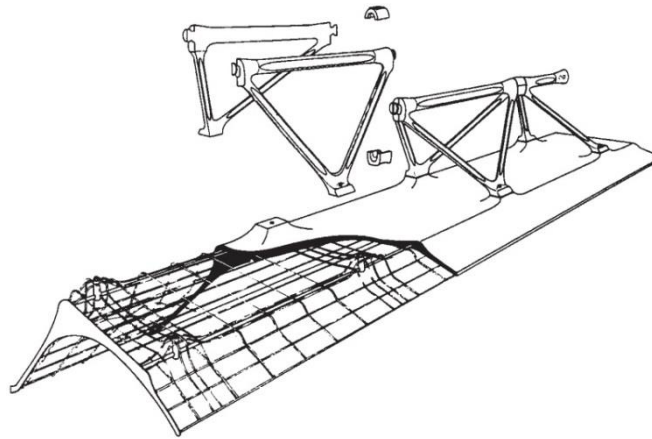
У оквиру пројекта музеја за Менил колекцију у Хјустону, Петер Рајс и Ренцо Пијано су употребили фeroцемент у комбинацији са дуктилним ливеним гвожђем, како би формирали видне, композитне елементе кровне конструкције (Слика 126, Слика 127 и Слика 128). Доњи појас кровне решетке чине фeroцементне валовите површи, обликоване тако да се оствари адекватно осветљење простора музеја.<sup>575</sup>



Слика 126. Ренцо Пиано, Музеј Менил, Хјустон, Тексас, 1987., попречни пресек кроз композитне елементе кровне конструкције. [Извор: Chris Abel, *Architecture, Technology and Process* (Routledge, 2004), 74]

Слика 127. Ренцо Пиано, Музеј Менил, Хјустон, Тексас, 1987., ентеријер. [Преузето са <http://www.architectmagazine.com/lighting/art-plus-light.aspx>, 16.1.2013.]

<sup>575</sup> Chris Abel, *Architecture, Technology and Process* (Routledge, 2004), 74.



**Слика 128.** Композитни носећи елементи од фeroцементa и ливеног гвожђа. [Извор: Chris Abel, *Architecture, Technology and Process* (Routledge, 2004), 74]

Дуктилно ливено гвожђе, мада мање чврстоће од челика, изабрано је како би се реализовали посебно обликовани, деликатни профили горњег појаса и дијагонала решетке. Разлози за избор фeroцементa, као материјала за израду доњег појаса кровних решетке, били су вишеструки.<sup>576</sup> Један од разлога тицао се могућности реализације меке и зрнасте структуре фeroцементa, са циљем рефлектовања и равномерног расипња природне светлости, што је остварено путем додавања мермерног песка и белог цемента малтерској смеси. Такође, фeroцемент је омогућио релативно једноставну реализацију танких љуски (2,5cm) сложеног попречног пресека. Фeroцементни елементи су изведени у калупима, применом „layer“ методе, прскањем цементног малтера преко више слојева арматурних мрежа. Фeroцементни профили су у себи интегрисали вишеструке функције, постали су носећи елементи, елементи осветљења, елементи за спровођење машинских и електроинсталација. Разлог за избор фeroцемент била је и жеља да се реализује трајна конструкција, која не захтева посебно одржавање.

### **Конструкције засноване на садејству фeroцементa, челика и класичног армираног бетона**

Систем заснован на садејству фeroцементa, челичних линијских носећих елемената и класичног армираног бетона, који се примењује за реализацију објеката веће спратности, је систем интегрисане металне оплате (**Слика 129**).<sup>577</sup>

<sup>576</sup> Renzo Piano, *Menil: The Menil Collection* (Renzo Piano, 2013).

<sup>577</sup> Rešenja za energetsku efikasnost - Sistemi efikasne gradnje (Lafarge, 2013), 18-27.



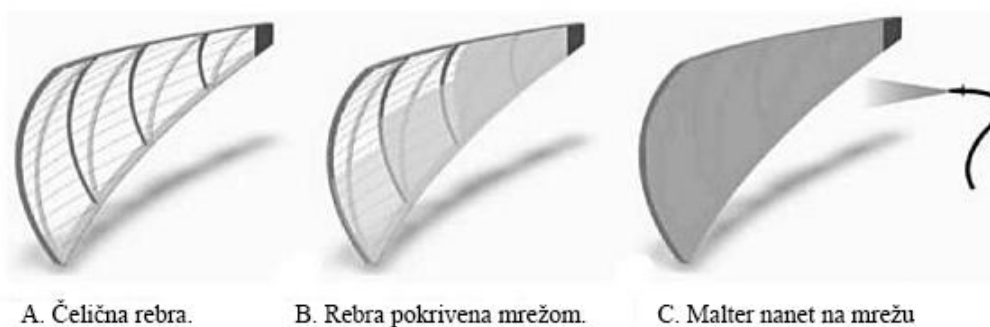
Слика 129. Систем металне интегрисане оплате. [Извор: Решења за енергетску ефикасност - Системи ефикасне градње (Lafarge, 2013), 20 и 21]

У простору између двостране оплате, формиране од поцинкованих челичних мрежа везаних за рамове од поцинкованих челичних профила, међусобно повезане челичним спојницама, на лицу места се уграђује стандардна арматура и лије класичан армирани бетон. Како би се спречило цурење цементног млека кроз отворе арматурне мреже, бетон мора бити одговарајуће вискозности. Након ливења класичног бетона и његовог очвршћавања, приступа се малтерисању површина. На овај начин добијају се композитни зидови од две спољне фeroцементне „опне“ и унутрашњег слоја класичног армираног бетона. Захваљујући фeroцементној „опни“ систем поседује већу дуктилност од система са класичним армиранобетонским зидовима, односно већу отпорност при дејству земљотреса.

Композитни склоп, заснован на заједничком раду фeroцементa, челичних линијских носећих елемената и класичног армираног бетона, предлаже и Мартин Бечхолд са Универзитета Харвард. Бечхолд је засновао свој концепт на Нервијевој идеји о коришћењу фeroцементa као уграђене оплате за реализацију бетонских љуски. Он предлаже иновативни метод за реализацију армиранобетонских љуски, укључујући и љуске сложене геометрије.<sup>578</sup> Бетонске љуске се изводе ливењем бетона на лицу места, преко претходно изведених композитних троугаоних сегмената (Слика 130). Сегменти се изводе у виду челичног оквира, са челичним ребрима која прате облик будуће љуске. За челична ребра се са доње стране везују арматурне мреже, након чега се приступа машинском или ручном наношењу

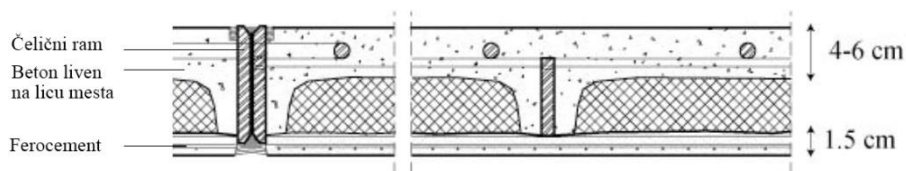
<sup>578</sup> Martin Bachthold, *Innovative Surface Structures: Technologies and Applications* (Taylor and Francis, 2008).

малтера. Након очвршћавања фeroцементa, у простор између челичних ребара се уграђују елементи од изолационих материјала. Композитни сегменти, од челика, фeroцементa дебљине 1.5cm и изолационог материјала, се постављају на привремену скелу и међусобно повезују заваривањем дуж ивичних челичних ребара. Ови сегменти постају уграђена оплата за већу бетонску љуску, која се реализује на лицу места. Пре ливења бетона, кроз прорезе на челичним ребрима поставља се челична арматура будуће бетонске љуске.



**Слика 130.** Мартин Бехтхолд, Предлог за извођење композитних троугаоних сегмената. [Извор: Martin Bechthold, „Surface structures in the digital age: Studies in ferrocement“, in *Material Matters: Architecture and Material Practice*, ed. Katie Lloyd Thomas (Routledge, 2007), 148]

На овај начин добија се композитна љуска, ојачана челичним ребрима, сачињена од три компонентна конструктивна материјала: челика, фeroцементa и класичног армираног бетона (**Слика 131**).



**Слика 131.** Попречни пресек кроз композитну љуску. [Извор: Martin Bechthold, „Surface Structures: Digital Design and Fabrication“, *ACADIA: Structures*, 2004, 96]

С' обзиром на то да се сегменти пројектују и изводе применом компјутерски подржане технологије, могуће их је прецизно извести и у случају сложене геометрије, без ограничења везаних за регуларност геометрије и употребу идентичних јединица услед економских ограничења.<sup>579</sup>

<sup>579</sup> Bachthold, „Surface Structures: Digital Design and Fabrication“, 96.

### 3.12.3 Примена фeroцементa код ојачавања конструкција

Главни узор пропадања армиранобетонских конструкција је појава прслина и отпадање бетона, чиме се убрзава процес корозије арматуре. Како би се продужио век армиранобетонских конструкција потребно је применити одговарајуће технике заштите и ојачања. Применом фeroцементa може се унапредити чврстоћа и крутост постојећих бетонских конструкција, обезбедити водонепропусност, редуковати продор агресивних супстанци, а тиме и продужити трајност, као и унапредити њихова визуелна својства. Носивост греда, плоча и стубова може се повећати и до 30% уз истовремену редукацију ширине прслина. Примена фeroцементa за ојачавање конструкција не подразумева оплату и тешку машинерију. Такође, на овај начин мала додатна тежина се уноси у конструкцију.

У случају ојачања притиснутих бетонских елемената чврстоћа може бити повећана и до 30%.<sup>580</sup> Ојачавање фeroцементом армиранобетонских стубова, кружног и квадратног попречног пресека, повећава њихову крутост, чврстоћу, дисипацију енергије и дуктилност, док се мод лoма мења из кртог услед смицања у дуктилни услед савијања.<sup>581</sup> Показано је и да повећање запреминског удела арматуре у фeroцементу само до извесне границе повећава носивост елемената на притисак, обзиром на то да за велике вредности  $V_f$  може наступити преурањено формирање иницијалних пукотина.<sup>582</sup>

Обезбеђењем слоја фeroцементa код армиранобетонских греда унапређује се њихова носивост при савијању, смањује се ширина прслина и повећава њихова дуктилност, без обзира на облик попречног пресека греда.<sup>583</sup> Унапређење наведеног је значајно само у случају композитног рада фeroцементa и бетона, односно у случају остварења адекватне везе међу материјалима која онемогућава раслојавање. Како би се остварила довољно јака веза греде и фeroцементa поједини аутори предлажу довољно охрапављену површину бетона и уградњу можданика на блиском размаку,

---

<sup>580</sup> Takiguchi and Abdullah, „Experimental Investigations on Ferrocement as an Alternative Material to Strengthen Reinforced Concrete Columns“, 177-190.

<sup>581</sup> Takiguchi and Abdullah, „Ferrocement as Strengthening and Repairing Material for R/C Columns“, 433-444; Takiguchi and Abdullah, „Ferrocement as an alternative material to enhance seismic performance of R/C columns“, 177-189.

<sup>582</sup> Abdullah and Katsuki, „Strength and behavior of concrete confined by ferrocement boxes“, 304-314.

<sup>583</sup> Dongyen et al., „Strengthening of reinforced concrete beam and slab system using ferrocement jacketing“, 461-472.

које уједно могу да служе за фиксирање мрежа током израде фероцементног слоја.<sup>584</sup>

У сеизмички активним зонама често је потребно повећати дуктилност постојећих конструкција, што може бити исплативије од рушења и градње нових објеката, а и оправдано са аспекта потрошње ресурса и заштите животне средине. Применом фероцемента повећава се дуктилност постојећих бетонских и зиданих конструкција и расте њихова носивост, посебно на затезање и смицање, уз редуковање ширине прслина.<sup>585</sup> Истраживање је показало да примена слоја фероцемента на зиданом зиду повећава носивост и претходно оштећених зидова, чак и до два пута. Повећава се носивост на смицање, редукује ширина прслина и повећава дуктилност.<sup>586</sup> Универзитет у Лампунгу је предложио фероцемент као материјал за рехабилитацију свих старих зграда у Индонезији, обзиром на то да је она земља са високим сеизмичким ризиком.<sup>587</sup> Фероцемент, заснован на примени мрежа од синтетички влакана, примењен је и за ојачавање зиданих конструкција објеката у оквиру пројекта обнове комплекса манастира Хиландар на Светој Гори (Слика 132).<sup>588</sup>



**Слика 132.** Објекат у оквиру манастира Хиландар, Света Гора, Грчка, извођење радова на ојачавању зидане конструкције применом слоја фероцемента, карактеристични слојеви ојачаног зида. [Извор: Фотографије из архиве аутора проф. др Ненада Шекуларца, пројектанта конструкција у оквиру пројекта обнове комплекса манастира Хиландар]

<sup>584</sup> Paramasivam and Ong, „Structural strengthening using ferrocement laminates“, 49-57.

<sup>585</sup> Rafeeqi and Ayub, „Theoretical prediction models for plain concrete confined with ferrocement“, 337-352.

<sup>586</sup> Fabiana and Hanai, „Experimental Analysis of Concrete Block Masonry Walls with Rectangular Openings Strengthened by Ferrocement Overlays“, 179-191.

<sup>587</sup> Anshori et al., „Ferrocement in Indonesia: Its applications and potentials“, 311-318.

<sup>588</sup> Стручни савет за обнову Светог манастира Хиландара чине: проф. др Мирко Ковачевић, проф. др Ненад Шекуларца, Драгомир Кривокућа, Стевица Трипковић, дипломирани инжењери архитектуре, проф. др Бранислав Д. Живковић, дипломирани инжењер машинства, проф. др Зоран Лазаревић, дипломирани инжењер електротехнике, проф. др Небојша Марковић, дипломирани инжењер пољопривреде, Миодраг Б. Чомић, дипломирани грађевински инжењер и Радмило Стојанкић, дипломирани економиста.

### 3.13 Вредновање еколошких ефеката примене фeroцементa у оквиру конструкција зграда

#### 3.13.1 Вредновање ефеката примене фeroцементa према критеријуму заштите животне средине током животног циклуса зграде

##### Штетне емисије у ваздух, воду и земљиште

Емисије CO<sub>2</sub> везане за употребу бетона последица су примарно производње цемента. Један од начина да се редукују CO<sub>2</sub> емисије у вези са потрошњом цемента је редукација укупне потрошње бетона. Употребом фeroцементa може бити редукована потрошња бетона и до 50%, у односу на класичне армиранобетонске конструкције.<sup>589</sup> Међутим, треба имати у виду да је за израду фeroцементa потребно око два пута више цемента по m<sup>3</sup>, него у случају класичног армираног бетона, па се у том смислу потиру ефекти редукације укупне потрошње материјала. Ипак, применом фeroцементних елемената мале тежине редукује се тежина осталих елемената у конструкцији (зидова, темеља..), а тиме и укупна потрошња цемента. Редукацију потрошње цемента у малтерској мешавини могуће остварити повећањем количине песка и редукацијом количине воде, уз употребу суперпластификатора, како би се побољшала обрадљивост, што уједно повећава трајност и чврстоћу фeroцементa. Количину цемента могуће је редуковати и употребом песка крупнијег зрна, чиме се смањује потребна количина цементне пасте. Редукацију утицаја могуће је остварити употребом алтернативних сировина или делимичном супституцијом цемента материјалима из индустријског отпада, као што су гранулисана згура високих пећи, електрофилтерски пепео из термоелектрана и силикатна прашина.

Употребом фeroцементa може бити редукована потрошња челика до 20%, у односу на класичан армирани бетон,<sup>590</sup> чиме се редукују CO<sub>2</sub> емисије везане за производњу челика. Даљу редукацију CO<sub>2</sub> емисија у случају фeroцементa могуће је остварити применом арматурних мрежа од рециклираног челика.

---

<sup>589</sup> Панарин и Хежев, *Армоцементные конструкции повышенной огнестойкости*, 23.

<sup>590</sup> Панарин и Хежев, *Армоцементные конструкции повышенной огнестойкости*, 23.

За израду фeroцементa користе се локалне сировине и производи, чиме су редуковани утицаји при транспорту (штетне емисије везане за сагоревање горива) у односу на увозне материјале и производе.

Фeroцементне конструкције, обзиром на малу дебљину елемената, често подразумевају додатне слојеве изолационих материјала, који уколико су засновани на употреби CFC, HCFCs или HFCs агенаса, имају негативне ефекте на озонски омотач.

### **Захтев за енергијом**

#### **Уграђена енергија**

Иницијална уграђена енергија компонентних материјала у оквиру фeroцементa је за песак 0.1MJ/kg, цемент 4.6MJ/kg, рециклирани челик 8-10MJ/kg, сирови челик 32-35MJ/kg. За малтер са односом 1:3 цемент/песак уграђена енергија је 1.4MJ/kg. Са порастом удела цемента уграђена енергија расте, па за малтер са односом 1:2 износи 3.3MJ/kg. Уграђена енергија фeroцементa расте са повећањем процента арматуре. Пораст уграђене енергије може се добити применом предложеног коефицијента од 0.26 за сваких 25kg челика по m<sup>3</sup> фeroцементa.<sup>591</sup> За максимални проценат арматуре од 8%, уграђена енергија фeroцементa износи ~5.5MJ/kg, док је за просечни удео арматуре ~4.3MJ/kg. Уграђена енергија фeroцементa је у просеку 2 пута већа од уграђене енергије класичног армираног бетона, обзиром на већи удео цемента и челика. Ипак, обзиром на и до 50% мањи утрошак материјала у оквиру носећих елемената, наведена разлика се елиминише. Када се има у виду редукација тежине осталих елемената у конструкцији, због мање сопствене тежине фeroцементних елемената у склопу, укупна уграђена енергија конструкције зграде (зидови, темељи..) може бити знатно редукована. С' обзиром на то да фeroцементни носећи елементи могу бити реализовани на начин који обезбеђује квалитетну завршну површину (без употребе специјалних оплата и потребе за даљом обрадом у виду бојења, малтерисања, облагања и сл.) и обликовани на начин који доприноси остварењу адекватних акустичких и светлосних

---

<sup>591</sup> Hammond and Jones, *Inventories of Carbon and Energy*, 28.



перформанси простора, елиминише се потреба за додатним завршним облогама и тиме знатно редукује укупна иницијална уграђена енергија зграде.

Уграђена енергија током фазе употребе зграде, која се односи на материјале и елементе потребне за одржавање и поправку фероцементних елемената конструкције, је редукована уколико је композит пројектован у складу са специфичним условима у окружењу. У том случају се могу реализовати елементи конструкције који имају дуг животни век, уз минимум одржавања. Поправке фероцемента се спроводе ручно уз мали утросак материјала и енергије.

Обзиром на наведено, у оквиру публикације „Програм Уједињених Нација за Људска Насеља“ наводи се да је фероцемент материјал који „има мањи еколошки отисак од већине трајних решења за потребе становања“.<sup>592</sup> Намањ такође констатује „Фероцемент се сматра енвајронментално прихватљивом технологијом“.<sup>593</sup> Иако је ово композитни материјал сачињен од два материјала добијена у енергетски интензивним процесима производње, цемента и челика, он их користи на веома ефикасан начин. Редукована је количина материјала и енергије потребна да би се добио коначан производ. Минимизована је емисија штетних супстанци при производњи, уградњи и коришћењу елемената од фероцемента.

### Оперативна енергија

Редуковање оперативне енергије зграде, кроз осигурање топлотне стабилности, односно минимизовање температурних флукуација у унутрашњим просторима, применом пасивних техника, односи се на комбинацију редукације топлотне кондукције и конвекције, и адекватне топлотне масе.

Фероцемент има топлотну проводљивост од 1.4 W/mK (челик 43-58; дрво 0,12-0,16; опека 0,6-0,8; стиропор 0.038; ваздух 0.023). Топлотна проводљивост фероцемента расте са запреминским уделом челичне мрежне арматуре.<sup>594</sup> Обзиром на то да су фероцементни елементи веома танки, они имају малу топлотну отпорност  $R$  ( $m^2K/W$ ). Обзиром на наведено, када је у питању примена фероцементних једнослојних површинских носећих елемената у склопу омотача зграде, потребни су

---

<sup>592</sup> *Going Green: A Handbook of Sustainable Housing Practices*, 117.

<sup>593</sup> Naaman, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*, xiii.

<sup>594</sup> Hawalder, Mansur, and Rahman, „Thermal Behaviour of Ferrocement“, 231-239.

додатни термоизолациони слојеви како би се осигурала прописана топлотна отпорност. Потребно је имати у виду да накнадно додатно топлотно изоловање фероцементних конструкција, посебно оних сложене геометрије (закривљене, наборане и оребрене површине, ошупљени профили), може бити временски захтеван и компликован процес (најчешће се приступа наношењу слоја полиуретанске изолационе пене у спреју, у потребној дебљини, на лицу места). Са друге стране, фероцементни сендвич или ошупљени елементи (са слојем ваздуха) имају добар капацитет термалног пригушења (смањена температурних варијација),<sup>595</sup> што редукује потребне дебљине додатних термоизолационих слојева. Када је у питању топлотна отпорност целокупног конструктивног склопа, односно отпорност целокупне површине структуре, склопови засновани на примени фероцемента који подразумевају континуални термоизолациони слој, су погоднији, обзиром на елиминацију топлотних мостова. На овај начин се редукују енергетски захтеви за грејање и хлађење унутрашњих простора, као и могућност за појаву влажења у зони конструкције. Са друге стране склопови засновани на примени фероцемента који подразумевају дисконтинуитет термоизолационог слоја, односно склопови који не подразумевају ефикасно извођење континуалне термоизолације константне дебљине, могу бити проблематични по питању термичких мостова, односно водити ка већим енергетским захтевима и могућности стварања конденза у зони конструкције.

Када је у питању заптивеност склопа повољни су монолитни фероцементни склопови, обзиром на то да је минимизовано цурење ваздуха. У случају префабрикованих фероцементних елемената и постојања не-монолитних веза, потенцијал за појаву цурења ваздуха постоји, али је мањи него у случају дрвених склопова, обзиром на димензионалну стабилност фероцемента (појава цурења ваздуха је примарно условљена својствима заптивних материјала).

Када је у питању формирање конструкције са одговарајућом топлотном масом, односно конструкције која ће моћи да акумулира топлоту и да је затим постепено ослобађа, фероцементни елементи су задовољавајући са аспекта густине, специфичног топлотног капацитета и топлотне проводљивости материјала, али могу бити незадовољавајући по питању дебљине елемената. Такође, поједини фероцементни сендвич панелни системи подразумевају да је део носеће конструкције

---

<sup>595</sup> Sudhakumar, „Studies on the thermal performance of ferrocement roofs“, 599-604.

(спољни слој фeroцементa) неизолован од спољног простора, чиме се губи могућност његовог укључења у процесe регулације токова топлоте у унутрашњим просторима. Ипак, у условима дуготрајних високих летњих температура, када није омогућено ефикасно ноћно хлађење конструкције, редукована термална маса конструкције може бити и пожељна, како би се лакше успоставио адекватан топлотни комфор. Такође, редукована термална маса конструкције може бити повољна и у зимском режиму, у ситуацијама када не постоји довољни сунчев захват, односно ефикасан начин загревања конструкције. Ипак, како би се остварио одговарајући топлотни капацитет и термална инерција целокупног склопа, у случају примене фeroцементних елемената, у појединим случајевима може бити неопходно инкорпорирање додатних слојева материјала одговарајућих термалних карактеристика.<sup>596</sup>

У случају примене видних фeroцементних носећих површинских носећих елемената у оквиру спољног омотача зграде, адекватним избором боје елемената може се утицати на ниво топлотне апсорпције, са циљем оптимизовања топлотних перформанси зграде.

Када је у питању редукација потребне енергије за грејање и хлађење простора, фeroцементни носећи елементи сложеног попречног пресека су посебно повољни обзиром на могућност интеграције машинских, електро и инсталације осветљења у зони конструкције. Фeroцементни носећи елементи могу бити обликовани на начин који омогућава интеграцију елемената конструкције и система за вентилацију унутрашњих простора зграде, где се кроз елементе конструкције сложеног попречног пресека усмерава ваздух са циљем регулације температуре унутрашњих простора. У процес оптимизације токова топлоте у унутрашњим просторима, могу бити укључени и ефекти термалне масе фeroцементних елемената. У том случају посебну повољност представља могућност слободног обликовања фeroцементних елемената са циљем повећања површине термалне апсорпције, уз истовремено повећање структуралне ефикасности.

---

<sup>596</sup> Sudhakumar, „Studies on the thermal performance of ferrocement roofs“, 599-604.

### **Захтев за укупном количином материјала**

Један од начина да се смање захтеви за укупном количином материјала је поновна употреба постојећих зграда. Поновна употреба зграде може захтевати адаптацију или реконструкцију, односно замену елемената зграде. Фероцементни конструктивни елементи могу имати дуг животни век уколико су адекватно пројектовани, што омогућава поновну употребу зграде. Међутим, када је у питању аспект адаптивности простора, фероцементни елементи могу представљати ограничење обзиром на редуковану могућност једноставног накнадног формирања отвора у оквиру елемената, посебно по питању осигурања његове носивости. Ипак, у односу на класичне армиранобетонске елементе, знатно веће дебљине од фероцементних, фероцемент се може сматрати повољнијим са аспекта адаптивности простора. Важна предност монолитних фероцементних склопова, која се тиче могућности поновне употребе зграда, је њихова робусност, односно мали степен оштећења при различитим дејствима, што је превасходно условљено оствареним континуитетом у оквиру система и његовом дуктилношћу. Када је у питању поновна употреба зграде која подразумева санацију и ојачавање постојећих конструктивних елемената, посебно зиданих и армиранобетонских, примена фероцемента посебно долази до изражаја. Применом фероцемента може се унапредити чврстоћа и крутост постојећих конструктивних елемената, уз пораст дуктилности, уз истовремено обезбеђење мањег продора агресивних супстанци и продужење трајности, као и унапређење визуелних својстава.

Када је у питању конструкција зграде и ефикасност искоришћења простора, кључна су питања адекватних позиција и димензија носећих елемената. Адекватним обликовањем фероцементних елемената (гредни елементи сложеног попречног пресека) или склопа у целини (оребрене фероцементне љуске), али и формирањем композитних склопова од фероцемента и других садејствујућих конструктивних материјала (армирани бетон и челик), могу бити остварени већи распони конструкције, односно већа нето корисна површина простора. Ипак, обзиром на сложена геометрију фероцементних елемената може бити донекле редукована укупна нето корисна површина и запремина простора, у односу на системе засноване на примени пуних попречних пресека. Међутим, обзиром на већу могућност просторне интеграције инсталационих система и елемената конструкције, у случају

примене фeroцементних конструктивних елемената сложеног пресека, наведени ефекти редукације нето корисне површине и запремине могу бити елиминисани.

У случају примене фeroцементних носећих елемената често је присутна функционална интеграција елемената простора. Површински фeroцементни конструктивни елементи, поред носеће функције, преузимају и функцију омотача зграде, као и функцију завршних унутрашњих површина, чиме се елиминише потреба за завршним облогама. Наведено је посебно изражено обзиром на могућност слободног обликовања елемената конструкције и могућност адекватне обраде завршних површина, односно остварења одговарајуће текстуре и боје материјала. Посебну погодност при примени фeroцементна као спољног омотача зграде, представља његова отпорност на агресивна дејства средине, као и мала количина материјала потребна за одржавање, током животног циклуса конструкције.

Када је у питању редукација количине материјала, фeroцементне конструкције и елементи поседују кључно својство. Реч је о структуралној ефикасности, која се мери степеном искоришћења материјала конструкције по питању ношења оптерећења. Фeroцементни елементи и склопови остварују крутост и носивост кроз форму, а не кроз кумулацију материјала. Обликовање попречних пресека фeroцементних елемената је усмерено ка редукацији количине материјала у мање напругнутој зони, посебно код елемената изложених савијању. На овај начин могу се остварити уштеде у потрошњи мешавине и до 50% и потрошњи челика до 20%, у односу на класичне армиранобетонске конструкције.<sup>597</sup>

У случају примене фeroцементна, могу се остварити уштеде у количини материјала у оквиру конструкције и оптималним пројектовањем самог материјала. Уштеде се могу остварити успостављањем оптималног односа између количине малтера, количине арматуре и чврстоће малтера, као и оптимизовањем распореда арматуре у елементима конструкције, у складу са очекиваним напрезањима.

### **Удео материјала из секундарних сировина**

Фeroцементни носећи елементи могу бити поново употребљени у неизмењеној или делимично измењеној форми (непосредна поновна употреба или употреба уз дораду), уколико је осигурана њихова трајност и адекватно одржавање.

---

<sup>597</sup> Панарин и Хежев, *Армоцементные конструкции повышенной огнестойкости*, 23.

Ипак, ограничавајући фактор може бити разградња склопа, која треба да буде изводљива без већег оштећивања елемената. У случају монолитних конструкција заснованих на примени фeroцементa, разградња без оштећивања је отежана, обзиром на тип веза и малу дебљину елемената. Поновну употребу могу лимитирати и димензије фeroцементних елемената које су често пројектоване за специфичну намену, као и немогућност сагледавања уграђене арматуре.

Са циљем редукације потрошње материјала из примарних сировина, у оквиру фeroцементних конструкција зграда могу се применити и материјали добијени процесом рециклаже материјала из отпада. Могућа је примена рециклираног челика за израду арматуре фeroцементних елемената. За разлику од класичног армираног бетона, за израду фeroцементних носећих елемената се не могу применити рециклирани агрегати у виду дробљене опеке и бетона, обзиром на ограничење величине зрна агрегата (до 5mm). У оквиру фeroцементa може бити употребљена рециклирана вода, при чему посебна пажња треба да буде посвећена аспектима уградљивости, чврстоће и трајности фeroцементa.

Када је у питању редукација захтева за примарним сировинама, битно својство композитних конструктивних материјала и композитних носећих компоненти је потенцијал материјала и компоненти за будуће рециклирање, који је у великој мери условљен могућношћу сепарације компонентних материјала. У случају фeroцементa, издвајање арматуре је отежано у односу на класичан армирани бетон, обзиром на велику специфичну површину арматуре, односно већу површину пријањања арматуре. Такође, за разлику од класичног армираног бетона, са крупнозрним агрегатом, који се може поново употребити након рециклаже (дробљења), дробљени малтер (након процеса сепарације арматуре) најчешће постаје део отпада.

Редукација количине примарних сировина у оквиру носећих фeroцементних конструкција је остварива и кроз примену нуспроизвода. Цемент може бити делимично замењен комплементарним цементним материјалима као што су електрофилтерски пепео, згура високих пећи и силикатна прашина. Ови додаци могу унапредити особине фeroцементa, односно омогућити лакшу уградњу, допринети већој чврстоћи и мањој пропусности за водену пару и гасове, као и већој отпорности на агресивну средину, односно већој трајности. Згура високих пећи може бити употребљена као замена за груби песак у фeroцементу, уз унапређење својства, као

што су чврстоћа при притиску и пропусност за водену пару и гасове. Песак може бити делимично или у потпуности замењен и каменом прашином, насталом током ископавања камена.

#### **Удео материјала из примарних сировина из обновљивих извора**

Потрошња песка, за потребе бетонске индустрије у Европи, превазилази брзину стварања нових резерви. Као замена за песак у фeroцементу може бити употребљена згура високих пећи или камена прашина.

#### **Удео материјала из извора којима се одговорно управља**

Експлоатацијом примарних сировина, деградира се природна средина, посебно у случају илегалне, неконтролисане експлоатације. Циљ је употреба сертифицираних материјала, из извора којима се одговорно управља.

#### **Одлагање отпада и удео опасног отпада**

У случају примене фeroцементних конструкција, обзиром на мању количину уграђених материјала, редукује се и количина грађевинског отпада насталог рушењем. Мања количина материјала у случају фeroцементних конструкција примарно је везана за структуралну ефикасност овог типа конструкција и могућност функционалне интеграције елемената простора. Са друге стране, када је у питању редукација количине отпада путем поновне употребе или употребе уз дораду фeroцементних елемената, без обзира на адекватну трајност елемената, постоје ограничења која се примарно тичу отежане разградње конструкције и често нестандартних димензија елемената, непогодних за нову примену. Када је у питању редукација количине отпада путем рециклаже, такође се јављају ограничења, примарно у вези са отежаним издвајањем арматуре из композита и редукованом могућности поновне употребе преосталог дробљеног малтера. Повољност фeroцементних конструкција, када је у питању редукација количине отпада је у могућности елиминације употребе дрвене оплате које чини знатан део отпада који се генерише током извођења класичних армирано бетонских конструкција. Када је у питању редукација удела опасног отпада, фeroцементне конструкције, посебно оне у

неагресивним срединама, које на захтевају посебну заштиту у виду премаза, су повољне обзиром на то да не садрже опасне материје.

#### **Захтеви за свежом водом и количина отпадне воде**

Редуковањем водоцементног фактора, уз одговарајуће пројектовање мешавине по питању уградљивости и обрадљивости (супрпластификатори, летећи пепео), може се смањити потрошња воде при производњи фeroцементa. Како би се редуковали захтеви за свежом водом, у оквиру фeroцементa може бити употребљена рециклирана вода. Проблем у процесима везаним за извођење фeroцементних конструкција може представљати складиштење и поновна употреба отпадне воде, обзиром на то да садржи штетне материје и да се не сме испуштати.

#### **Утицај на локални екосистем**

Када су у питању емисије штетних супстанци, односно могући токсични ефекти фeroцементa на биоресурсе, пре свега на људско здравље, треба имати у виду да материјали из индустријског отпада, шљака из високих пећи и пепео из термоелектрана, који се могу користити у оквиру фeroцементa могу бити радиоактивни. Такође, фeroцемент са летећим пепелом и другим комплементарним цементним материјалима може садржати и тешке метале. Додаци малтеру такође могу имати токсичне ефекте (потребно је имати у виду њихов хемијски састав). Токсични ефекти су могући и у случају примене пигмената и премаза за фeroцемент.



### **3.13.2 Вредновање ефеката примене фeroцементa према критеријуму социјалних добробити током фазе употребе зграде**

#### **Заштита и безбедност**

Када је у питању сигурност људи при дејству елементарних непогода фeroцементне монолитне конструкције су се показале као поуздане и издржљиве. Робустност овог типа конструкција, која умањује могућност прогресивног колапса, заснива се пре свега на њиховом континуитету и дуктилности. Фeroцементне монолитне конструкције могу да доживе велике деформације без колапса, претрпевши минимална оштећења, обзиром на присуство континуалне челичне арматуре велике специфичне површине. Донекле ограничавајући фактор у примени овог типа конструкција, посебно у случају сложене геометрије конструкције, је ограничена могућност прецизне нумеричке анализе носивости при дејству различитих оптерећења. Често је у том случају неопходно извршити лабораторијска тестирања физичких модела (који у што већој мери одговарају будућој реалној конструкцији), како би се сагледало понашање конструкције.

Отпорност фeroцементних конструкција према пожару је условљена многим факторима. Фeroцемент као материјал је негорив и поседује адекватну отпорност на пожар, што га сврстава у материјале погодне за израду носећих конструкција. Међутим, поред наведених услова које треба да задовољи материјал, потребно је и да елементи конструкције и конструкција у целини, током одређеног захтеваног времена, очувају носивост, интегритет и термоизолационо својство (у случају површинских носача). При дејству пожара долази до деградације механичких својстава носећих фeroцементних елемената услед редукције чврстоће при притиску фeroцементa и негативних утицаја високих температура на механичко понашање челика и смањење сила атхезије између малтера и арматуре. У односу на класичне армиранобетонске конструкције, где се наведени ефекти ублажавају кроз довољну дебљину заштитног слоја и довољну дебљину елемената конструкције, танкозидне фeroцементне конструкције су осетљивије на дејство пожара. У просеку механичка отпорност на пожар носећих фeroцементних елемената, који нису део композитног склопа, је само 30 минута, што представља малу отпорност према пожару. Задовољавајуће вредности механичке отпорности на пожар могу се остварити у оквиру композитних склопова, кроз садејство фeroцементa са другим конструктивним материјалима, при чему се захваљујући присуству фeroцементa као завршног слоја редукује степен оштећења елемената и дуже задржава њихова чврстоћа. Задовољавајуће вредности механичке отпорности на пожар

фероцементних носећих елемената могу се остварити у оквиру сендвич конструкција, са слојем термоизолационог материјала. Уз основну улогу заштите од пожара, термоизолациони материјали могу истовремено да обезбеде и задовољавајућа акустичка и термална својства фероцементних конструкција. Такође, поједини типови термоизолационих материјала, као што су изолациони лаки бетони, могу допринети порасту крутости фероцементног елемента и редукцији деформација и прслина при оптерећењу. Делимично ограничавајући фактор за примену сендвич система може да представља нужност испитивања механичког понашања елемената при пожару за сваки посебни случај примене.

### **Топлотни комфор**

Адекватно решење конструкције може допринети већем топлотном комфору уз истовремено редуковање потрошње енергије за грејање и хлађење. Циљ је минимизовање температурних флукуација у унутрашњим просторима, преко повећања топлотне отпорности конструкције, минимизовања топлотних мостова, остварења довољне заптивености склопа, као и формирања конструкције са одговарајућом топлотном масом, у складу са климатским факторима. Фероцементни површински носећи елементи, обзиром на то да су веома танки, имају малу топлотну отпорност, тако да је неопходно инкорпорирање додатних термоизолационих слојева у зони омотача зграде. Појава топлотних мостова у случају фероцементних конструкција је условљена решењем склопа, односно предвиђеним континуитетом (или дисконтинуитетом) термоизолационог слоја. Када је у питању заптивеност склопа повољни су монолитни фероцементни склопови, обзиром на то да је минимизовано цурење ваздуха. Када је у питању формирање конструкције са одговарајућом топлотном масом, фероцементни елементи могу бити незадовољавајући по питању дебљине, али и положаја носећег елемента (у случају сендвич елемената делови конструкције су неизоловани од спољног простора). Како би се остварио одговарајући топлотни капацитет и термална инерција целокупног склопа, може бити неопходно инкорпорирање додатних слојева материјала одговарајућих термалних карактеристика.

На осећај угодности у простору утиче и однос температуре и влажности ваздуха. На влажност ваздуха у унутрашњим просторима ће утицати и примењени материјали конструкције, односно њихова хигроскопска својства. Фероцемент, као

композит кога чини цементом богат малтер, има малу пропусност за водену пару и гасове. Фероцементни елементи, обзиром на наведено, не учествују у процесима регулације влажности ваздуха, а посебно у случају додатно редуковане пропусности (малтер са уделом летећег пепела или силикатне прашине, полимером модификовани малтер, премазима и импрегнацијом заштићен малтер).

### **Ваздушни комфор**

Када је у питању квалитет унутрашњег ваздуха фероцемент се може сматрати безбедним материјалом, практично без емисија штетних гасова, честица и микровлакана. Токсични ефекти су могући у случају примене појединих премаза за фероцемент (потребно је имати у виду њихов хемијски састав). Могуће је и присуство радиоактивних честица у песку и комплементарним цементним материјалима (шљака, летећи пепео).

Обзиром на малу пропусност за ваздух фероцемента, површински носећи елементи у зони омотача зграде, редукују могућност измена ваздуха кроз омотач и у том случају посебна пажња при пројектовању склопа треба да буде посвећена ризицима у вези са појавом влажења елемената и буђи.

### **Акустички комфор**

Фероцементне једнослојне површинске елементе, обзиром на малу дебљину, одликује велика проводљивост звука, односно мала изолациона моћ. Истраживање је показало да индекс звучне редукације фероцементних танких зидова расте са додатком укрућења, као и да даље расте са запуњавањем изолацијом,<sup>598</sup> као и да је у том случају већи у случају фероцементних зидова него код конвенционалних зидова од опеке.<sup>599</sup> При анализи акустичких својстава преградних фероцементних сендвич или ошупљених конструкција, треба имати у виду да су склоне резонанцији и да као такве могу погоршати акустичке перформансе простора. У појединим ситуацијама може бити потребно додавање апсорпционих материјала у шупљине, са циљем снижавања вредности резонантне фреквенције. Када је у питању изолација од звука

---

<sup>598</sup> У случају фероцементних преграда сачињених од два слоја фероцемента, између којих се налази слој ваздуха или порозног апсорпционог материјала, изолациона моћ преграде је боља (за 2db више) од пуног зида исте дебљине („Award-winning Project: Treelodge@Punggol“, 20).

<sup>599</sup> Kandaswamy and Ramachandiraiah, „Sound Transmission Performance on Ferrocement Panels“, 59-67.

удара, фероцементне таваничне конструкције, подразумевају додатне слојеве пода, који треба да редукују превођење звука удара, углавном од ходања, како би се обезбедиле адекватне акустичке перформансе простора. У случају примене префабрикованих фероцементних елемената мале површинске масе, са немонолитизованим спојевима, може се јавити неравномерна дистрибуција енергије звука и вибрација унутар структуре. У том случају бочно превођење ваздушног звука и звука удара може бити доминантан облик звучне трансмисије. Уколико постоји низак степен пригушења вибрација, у случају међуспратних таваница, задовољавајућа звучно изолациона својства морају бити осигурана путем уградње пливајућих подова који редукују вибрације унутар таваничног елемента, затим уградњом висећих плафона и адекватним детаљима на месту споја конструктивних елемената како би се избегло пропуштање звука, односно појава звучних мостова. Фероцементне конструкције и елементи су, обзиром на могућност њиховог слободног обликовања, погодни када је у питању реализација конструктивних склопова у складу са жељеним акустичким квалитетима унутрашњих простора. Пројектовањем текстуре фероцемента и облика елемената, може се управљати појавама у звучном пољу: временом реверберације, дифузношћу и првим рефлексјама.

### **Ниво електромагнетних поља**

Негативни електромагнетни ефекти фероцемента, а посебно оних са високим процентом арматуре, могу створити нездраво окружење за кориснике. Фероцементни површински носећи елементи могу појачати ефекте електромагнетне радијације у унутрашњим просторима, услед рефлексја и суперпонирања електромагнетних таласа.

### **Квалитет организације садржаја**

Димензије простора, релације између појединих зона и комуникационе везе између појединих зона, су у великој мери дефинисане конструктивним елементима зграде. Форма конструкције треба омогући остварење жељене функције простора. Фероцементне монолитне конструкције су погодне са аспекта њиховог прилагођавања форми простора коју захтева социјална акција. Елементи

конструкције могу бити обликовани тако да окупирају само пресечне зоне социјалних простора, са циљем остварења „најефикасније конструкције за дати систем простора“.<sup>600</sup> Структура може бити оптимизирана у складу са људима и њиховим потребама (Слика 20).<sup>601</sup>

### **Погодност простора за пренамену**

Како би се омогућило остварење просторне организације нових активности корисника уз низак ниво употребе ресурса, потребно је да простор буде у што већој мери ослобођен унутрашњих физичких препрека (стубови и носећи зидови, инсталациони водови и уређаји). Адекватним обликовањем фероцементних елемената (гредни елементи сложеног попречног пресека) или склопа у целини (оребрена фероцементне љуске), али и формирањем композитних склопова од фероцемента и других садејствујућих конструктивних материјала (армирани бетон и челик), могу бити остварени већи распони конструкције, односно већа нето корисна површина простора, чиме се повећава могућност функционисања простора за различите намене. Поред наведеног, битно својство фероцементних конструкција (посебно у неагресивним срединама), које се тиче погодности простора за пренамену, је њихова трајност и могућност лаких поправки и одржавања, заснованих на примени лако доступних материјала.

Међутим, у случају реконструкције простора фероцементни елементи могу представљати ограничење обзиром на редуковану могућност лаког накнадног формирања отвора у оквиру елемената конструкције, као и отежаног остварења веза нових конструктивних елемената са постојећом конструкцијом. Ипак, у односу на класичне армиранобетонске елементе, знатно веће дебљине од фероцементних, фероцемент се може сматрати повољнијим са аспекта адаптивности простора.

### **Лакоћа одржавања зграде**

Фероцементне конструкције уколико су пројектоване у складу са специфичним условима у макро и микроокружењу (климатским и хемијским) и адекватно изведене, омогућавају ефикасно одржавање током очекиваног употребног

---

<sup>600</sup> Alexander, Ishikawa and Silverstein, *A Pattern Language*, pattern 205.

<sup>601</sup> Kiesler, “On Correalism and Biotechnique”, 60–75.

века, уз минимум улагања људских, материјалних и финансијских ресурса. Потребно је реализовати композит са малтером адекватног квалитета, мале пропусности за водену пару и ваздух, као и мале порозности, како би се редуковало продирање, дифузија или капиларна активност агресивних супстанци, са редукованим потенцијалним степеном корозије челичне арматуре, што подразумева примену садејствујућих мера, односно хибридних система заштите (примена цемента богатог малтера, сачињеног од ситнозрног песка, са ниским водоцементним фактором, као и његова добра збијеност и квалитет завршне површине; адекватна нега малтера; примена галванизованих арматурних мрежа; адекватна дебљина заштитног слоја; контрола прслина; додавање летећег пепела, силикатне прашине, полимера; примена премаза или третмана импрегнације у високо агресивним срединама; примена инхибитора корозије...). Када је у питању фeroцементна конструкција у оквиру омотача зграде, потребно је минимизовати појаву влажења (кондензација у зони спојева елемената услед продора ваздуха, кондензација током дифузије водене паре кроз склоп, влага у самој конструкцији), пре свега кроз могућност исушивања. Повољна су решења која омогућавају исушивање и ка ентеријеру и ка екстеријеру (адекватан положај парне бране у склопу; паропропусни премази). За фeroцемент посебно су неповољни услови у којима се јављају учестали циклуси влажења и сушења конструкције, који убрзавају пропадање малтера. Пројектовањем адекватних детаља потребно је минимизовати локално задржавање воде и локалну концентрацију штетних супстанци. Све површине изложене води треба да буду адекватно дрениране. Напрезања у конструкцији која могу водити ка појави локалних прслина веће ширине треба да буду избегнута. Применом наведених мера могу бити реализоване трајне фeroцементне конструкције са минимумом потребног одржавања током животног циклуса, у поређењу са конвенционалним системима у класичном бетону, челику или дрвету. Обзиром на трајност фeroцементна, односно имајући у виду да су прве реализоване структуре у фeroцементу из средине деветнаестог века и данас у добром стању,<sup>602</sup> потребно је избегавати склопове у којима се фeroцемент комбинује са материјалима мање трајности уколико је онемогућено њихово раздвајање (сендвич системи код којих су

---

<sup>602</sup> Pemberton, „Feroceмент – An insight and review – So what is new?“, 75-83.

фероцемент и изолациони материјали мање трајности интегрисани у једну компоненту).

Фероцемент временом мења своја физичко-хемијска својства и изглед, а посебно уколико није адекватно пројектован, изведен и одржаван. На површини фероцемента могу се јавити смеђе мрље од корозије или беле мрље од кристализације. Одлама се површински слој. Визуелни доживљај архитектонских простора се мења.

Потребно је обезбедити лак приступ свим деловима конструкције, како би се могло спроводити одржавање које подразумева, откривање и попуњавање шупљина малтером, уклањање оштећеног малтера или малтера контаминираним корозивним агенсима и козметички третман површинских мрља. Поправка оштећеног видног фероцемента може бити проблематична примарно са визуелног аспекта, обзиром на редуковану могућност добијања малтера идентичне боје. Повољнија су решења са интегралном бојом. Ово решење је повољније од површинског бојења фероцемента, обзиром на то да се редукује учесталост одржавања.

### **Визуелни аспекти**

У визуелном смислу, архитектонски простори су за кориснике значајни на три нивоа. Први, презентациони ниво се односи на сагледавање обликовних и материјалних компоненти простора и њихових релација. Други, асоцијативни ниво се односи на схватање употребне вредности простора и његових делова. Трећи, симболички ниво се тиче симболичког значења које корисници додељују архитектонским просторима и њиховим деловима.

Критична компонента у процесу визуелног перципирања архитектонског простора је његова читљивост, која подразумева могућност брзог сагледавања и схватања распореда просторних елемената, што превасходно подразумева адекватно осветљење простора. Фероцемент, као композитни материјал коме може бити осмишљена структура, текстура и боја, а тиме и степен рефлексије (**Слика 106** и **Слика 107**), као и фероцементне конструкције, које омогућавају висок степен слободе формирања отвора, односно конципирања њихове величине, облика и позиције (**Слика 105** и **Слика 109**), као и слободно обликовање елемената склопа са циљем манипулисања светлом (**Слика 127**), могу допринети свеукупном квалитету

осветљености унутрашњих простора, односно нивоу осветљености, распрострањању светла, његовом интензитету и боји. Интервенцијама у боји фeroцементa може се “бојити”, односно “хладити” или “загревати” светлост. Примењени материјали у оквиру видне конструкције, својом бојим и текстуром, утичу на доживљај простора. Генерално, „тврди“ материјали, међу којима је фeroцемент, доживљавају се као „стерилни“ и „хладни“.<sup>603</sup> Међутим, наведено се мења уколико је боја материјала топла. Фeroцемент у својој „природној“ боји (“не-боји”), која је условљена бојом цемента и бојом зрна агрегата, чија је основа сива, се од стране лаика оцењује као „хладан“. Са друге стране, уколико се изведе у топлим бојама може бити значајно другачије доживљен и то примарно као „топао“.<sup>604</sup> Ипак, ни један материјал, па ни фeroцемент „сам по себи“, без обзира на примењену боју и текстуру, не садржи себи својствене „естетичке особине“. На доживљај простора ће утицати међусобни односи свих примењених материјала у простору, односно њихове релације или идејне везе. Поред примењених материјала на доживљај простора ће утицати и облици елемената конструкције. Фeroцементне конструкције могу попримити „меке, неагресивне форме, без оштрих ивица, прилагођене величине и облика“ које „изазивају пријатност додирa и стимулишу подесвесно на понављање истог искуства“.<sup>605</sup>

Архитектонски простори и њихови делови треба да буду јасни у смислу њихове употребне вредности. Суд о простору зависи од усвојене менталне репрезентације за одређену намену простора или његовог дела, развијене у одређеном културалном контексту. Фeroцемент се у визуелном смислу може доживети као бетон fine структуре или као груби малтер. У том контексту, фeroцемент се на европском тлу повезује са масовном применом бетона или малтера у оквиру објеката различитих намена, што га чини „неутралним“ материјалом, погодним за компоновање простора различитих асоцијативних вредности.

Симболичка значења која се додељују архитектонским просторима део су културалног и персоналног симболичког система и утичу на вредновање простора. Свеприсутност... стандардизованост, униформност... доступност... једноставност,

---

<sup>603</sup> Kimberly Rutkin, „User Preference Of Interior Design Elements In Hotel Lobby Spaces“, Master Thesis, University of Florida, 2005.

<sup>604</sup> I. Benz and R. Rambow, „Architects’ and Non-Architects’ Perception of Exposed Concrete as a Building Material“ (poster presented at the XXIX International Congress of Psychology, ICC, Berlin, 2008).

<sup>605</sup> Božović-Stamenović, 69.



постојаност...динамизам, слобода....фероцемент може „крити“ многе идеолошке позадине, односно попримити многа значења.

Можда је овде тренутак да се помене Френк Лојд Рајтово виђење бетона, као материјала који нема ничег свог, оригиналног, стога му све треба дати вештачки, из човекове маште,<sup>606</sup> виђење које може да се преведе у суштинско схватање композитних материјала.

---

<sup>606</sup> Frank Lloyd Wright, „The Meaning of Materials – Concrete“, 98-104.

## ДИСКУСИЈА РЕЗУЛТАТА

Теоријске основе ове дисертације постављене су у научно релевантне оквиру новог приступа пројектовању зграда, заснованом на циљаним интегрисаним перформансама зграда током њиховог животног циклуса. У питању је пројектовање чији су исход зграде које успешно изводе своју функцију, у складу са свим аспектима одрживости: социјалним, економским и аспектима заштите животне средине. У том смислу у оквиру дисертације су истражени принципи пројектовања конструкција и конструктивних материјала у оквиру интегрисаног приступа пројектовању зграда, у функцији допуне и проширења теоријске основе овог новог методолошког концепта у области архитектуре, усмереног ка остварењу еколошког квалитета. Приступ предмету истраживања, заснован на методолошком и концептуалном апарату за схватање и научно уобличавање проблема система-зграда, омогућио је добијање релевантних резултата истраживања, који представљају дубља и потпунија научна знања која се тичу односа и веза између подсистема зграде, конструкције и конструктивних материјала, као и понашања ових подсистема усмереног ка постизању циља система-зграде - еколошког квалитета.

**У првом сегменту истраживања** испитиван је појам еколошког квалитета зграде. Испитивање овог појма у оквиру овог истраживања засновано је на хуманој екологији. Еколошки квалитет зграде је дефинисан као ниво до кога перформансе зграде задовољавају потребе и очекивања њених корисника, а које се односе на социјалне и економске добробити остварене уз истовремену заштиту и унапређење животне средине током животног циклуса зграде. У оквиру истраживања су предложени индикатори за интегралну процену еколошког квалитета зграде, разврстани по међусобно повезаним и условљеним критеријумима одрживости у три групе: индикатори у оквиру критеријума заштите животне средине, индикатори у оквиру критеријума социјалних добробити и индикатори у оквиру критеријума економских добробити. Индикатори заштите животне средине заснивају се на анализи животног циклуса зграде (који се односи на фазу производње материјала и производа, фазу изградње, коришћења, и фазу „краја живота“ зграде), када је у питању процена утицаја на животну средину, односно процена степена њене

заштите. Када су у питању социјалне и економске добробити, индикатори су засновани на анализи степена задовољења потреба власника/корисника у фази употребе зграде.

Процена еколошког квалитета зграде (пројектованих решења), на основу групе индикатора заштите животне средине, односи се на утврђивање ефеката током животног циклуса зграде на глобалну и локалну животну средину. При процени еколошког квалитета зграде потребно је размотрити следеће: ефекте током животног циклуса зграде на глобално загревање, оштећење озонског омотача, повећање киселости, еутрофикацију и фотохемијско формирање озона; захтев за примарном енергијом из необновљивих извора, захтев за укупном примарном енергијом и удео примарне енергије из обновљивих извора; захтев за укупном количином материјала, удео материјала из секундарних сировина, удео материјала из примарних сировина из обновљивих извора, удео материјала из извора којима се одговорно управља; одлагање отпада и удео опасног отпада; захтев за свежом водом и количину отпадне воде; захтев за земљиштем високог бонитета и удео претходно коришћеног грађевинског земљишта; утицај на локални екосистем. Основни циљ предметних разматрања је смањење штетних емисија у ваздух, воду и земљиште, као и повећање ефикасности коришћења ресурса, односно смањење интензитета њиховог коришћења, у функцији очувања продуктивности и стабилности екосистема.

Процена еколошког квалитета зграде (пројектованих решења), на основу групе индикатора социјалних добробити, односи се на утврђивање нивоа до кога перформансе зграде задовољавају потребе и очекивања њених корисника, током фазе употребе зграде. Реч је о задовољењу еколошких људских потреба, односно аутентичних људских потреба, у којима вредност “бити” превазилази вредност “имати”. При процени еколошког квалитета зграде потребно је размотрити два кључна аспекта квалитета архитектонских простора, функционални и симболички. Ови аспекти тичу се сагледавања услова који треба да подрже жељене активности, односно могућности простора да стимулише жељена искуства. Потребно је размотрити следеће: аспект заштите и безбедности корисника; аспекте топлотног, ваздушног, акустичког и операционог комфора; квалитет воде; ниво електромагнетног загађења; приступачност просторима зграде; заступљеност потребних садржаја и квалитет њихове организације; погодност простора за

пренамену; лакоћу одржавања зграде; локацијске аспекте; визуелне аспекте који укључују и аспекте светлосног комфора. Основни циљ предметних разматрања је реализација архитектонских простора који доприносе квалитету живота људи, односно животном задовољству, кроз очување и унапређење њиховог здравља, подстицање осећаја сигурности, угодности и склада са животним окружењем.

Процена еколошког квалитета зграде (пројектованих решења), на основу групе индикатора економских добробити, односи се на процену трошкова животног циклуса зграде и процену могућности очувања вредности зграде као дугорочне инвестиције. Примарно је потребно размотрити могућност редуковања трошкова коришћења и одржавања зграде, обзиром на то да ови трошкови чине највећи део трошкова животног циклуса зграде, и то првенствено: аспект трајности и поузданости зграде, односно лакоће одржавања зграде (аспекти социјалних добробити); аспект адаптивности простора, односно погодности простора за пренамену (аспект социјалних добробити); аспект искоришћености простора (аспекти заштите животне средине); аспект енергетске ефикасности зграде, односно могућност редуковања потребне оперативне енергије (аспект заштите животне средине). Наведене аспекте, који се тичу редукације трошкова у фази употребе зграде, потребно је размотрити и у функцији њиховог доприноса аспект очувања вредности зграде током времена, обзиром на то да су корисници заинтересовани за зграде које у већој мери могу задовољити њихове потребе, односно унапредити квалитет њихових активности, уз истовремену редукацију трошкова коришћења и одржавања. У том смислу разматрања треба да буду фокусирана на процену корисности зграде, као “омогућивача”, кроз однос могућих/остварених ефеката - квалитета процеса и планираних/уtroшених средстава за њихово остварење. Треба имати у виду да очување тржишне вредности зграде неће зависити само од њене корисности већ и од финансијске моћи потенцијалних купаца/корисника.

Наведени индикатори еколошког квалитета су међусобно повезани и условљени. Значај појединачних индикатора није константан, нити једнак за различите људске екосистеме, са њиховим специфичним ресурсима и друштвеном структуром. Њихов значај се утврђује у складу са локалним климатским условима и природним ресурсима, локалним социјалним и културним условима, као и локалном економијом, који се динамично мењају. У том смислу, процена еколошког квалитета

зграда условљена је локалном средином и њеним специфичностима, у датом временском контексту. Међутим, при утврђивању значаја три наведене групе индикатора еколошког квалитета, главни циљ је успостављање равнотеже између три стуба одрживог развоја, односно придавање једнаког значаја групама индикатора заштите животне средине, социјалних добробити и економских добробити.

Предложени индикатори у оквиру критеријума за процену еколошког квалитета зграда, поред тога што су основ за интегралну процену квалитета пројектованих решења, преко квантитативне и квалитативне процене нивоа пројектованих и постигнутих перформанси, у оквиру истраживања су узети као основ за дефинисање интегрисаних пројектних циљева, у функцији обезбеђења еколошког квалитета зграда, односно у функцији оптимизације њихових перформанси у контексту одрживости.

**У другом сегменту истраживања** анализирано је интегрисано пројектовање конструкција, односно пројектовање конструкција у оквиру интегрисаног приступа пројектовању и вредновању зграда. Првобитно је анализирано пројектовање зграда засновано на циљаним интегрисаним перформансама зграде током њеног животног циклуса, као процес који треба да омогући остварење еколошког квалитета. У оквиру истраживања овај вид пројектовања је дефинисан као интегрисано пројектовање чији су исход зграде које успешно изводе своју функцију, у складу са свим аспектима одрживости: социјалним, економским и аспектима заштите животне средине. У питању је холистички приступ, који захтева системско мишљење и континуирану интеракцију свих учесника у процесу пројектовања. Овакав вид пројектовања подразумева рано и интензивно укључивање клијената и крајних корисника, као и рано укључивање различитих дисциплина, како би пројектована решења била у што већој мери усклађена са интегрисаним пројектним циљевима, односно како би се реализовао еколошки квалитет. Интегрисано пројектовање је процес у коме ниједна информација о крајњем резултату није доступна. Интегрисано пројектовање зграда подразумева истраживање комплексних условљености многоструких аспеката, социјалних, економских и аспеката заштите животне средине, из којих, у нелинеарном, итеративном процесу, произилазе идеје. Из идеја, које имају унутрашњу диференцијацију и мултиплицитет, даље произилазе концепти као

појединачни ентитети. У процесу интегрисаног пројектовања зграда, заснованом на начелу контекстуалности, свако решење произилази из њему својственог скупа параметара. Утицајни фактори, односно чиниоци који условљавају и одређују видове просторне организације, су у процесу интегрисаног пројектовања многоструки. Поред интегрисаних пројектних циљева, који се могу сматрати глобалним, на исходе ће утицати услови локалне средине, који се могу тумачити као ограничења, али и као потенцијали. У процесу стварања одговорне архитектуре, концепте треба вредновати кроз агрегацију чињеничних и вредносних судова, у складу са интегрисаним критеријумима, односно квантитативним и квалитативним индикаторима еколошког квалитета. У процесу интегрисаног пројектовања зграда, које подразумева критичко разумевање темељних узрока, одлучивање постаје уметност изналажења најбољег компромиса, са циљем оптимизовања перформанси зграде као целине, а не оптимизовања њених појединачних компоненти.

Интегрисано пројектовање конструкција, односно пројектовање конструкција у оквиру интегрисаног приступа пројектовању и вредновању зграда, заснива се на циљаним интегрисаним перформансама зграде током њеног животног циклуса. Како би се реализовао еколошки квалитет зграде, конструкција зграде се, као подсистем зграде, пројектује према захтевима којима треба да удовољи зграда као систем-целина. У процесу интегрисаног пројектовања конструкција укључени су нови параметри, који раније нису били релевантни при пројектовању конструкција. У том смислу, у процесу интегрисаног пројектовања конструкција нужно је промишљање изван установљених решења, са циљем унапређења перформанси зграде током животног циклуса. У процесу интегрисаног пројектовања зграда посебно је значајно да се идеја о конструкцији, њеној форми и материјалима, рађа истовремено са идејом о згради, обзиром на то да накнадно конципирање конструкције може резултирати редукованим предностима. Рано разматрање материјалних аспеката је посебно значајно у случају пројектованих/композитних материјала и склопова, обзиром на могућност пројектовања перформанси у складу са специфичним захтевима. Обзиром на то да расте број утицајних фактора при пројектовању конструкције, мења се појам њеног оптималног понашања, односно њених оптималних перформанси. Оптималне перформансе конструкције, односно појам ефикасности конструкције, више се не односи на традиционално елементарно задовољење услова механичке сигурности, уз

минимални утрошак материјала и минималну цену градње. У процесу интегрисаног пројектовања зграда, конструкција се не може разумети, а тиме и вредновати, без разумевања њене везе са специфичном функцијом архитектонског простора. Конструкција зграде мора бити посматрана као функционална јединица. Потребно је анализирати њен допринос перформансама зграде чији је саставни део, током животног циклуса. Вреднује се еколошки квалитет зграде, односно перформансе зграде које зависе од комплексне интеракције многоструких утицаја.

У контексту наведеног, у оквиру истраживања анализирани су принципи пројектовања конструкција зграда у складу са постављеним интегрисаним циљевима, који произилазе из индикатора еколошког квалитета зграде. Спознати су могући облици повезаности и зависности подсистема зграде, конструкције и конструктивних материјала, односно понашање ових подсистема усмерено ка постизању циља система-зграде – еколошког квалитета. На основу предметне анализе утврђени су критеријуми за интегрисано пројектовање и вредновање конструкција зграда засновано на циљаним интегрисаним перформансама зграде, у оквиру критеријума заштите животне средине током животног циклуса зграде и у оквиру критеријума социјалних добробити за кориснике током фазе употребе зграде, у функцији остварења еколошког квалитета зграда.

Интегрисано пројектовање конструкција засновано на критеријуму заштите животне средине током животног циклуса зграде, има за циљ смањење штетних емисија у ваздух, воду и земљиште, као и повећање ефикасности коришћења ресурса, односно смањење интензитета њиховог коришћења. Како би се остварило претходно потребно је: редуковати количину материјала са интензивним емисијама током производње услед хемијских реакција; редуковати уграђену енергију конструкције кроз редукацију укупне потрошње конструктивних материјала; повећати удео материјала из енергетски мање захтевних процеса добијања сировина; повећати удео мање процесираних материјала; повећати удео материјала из енергетски мање захтевне производње; повећати удео материјала обезбеђених из секундарних сировина; повећати удео материјала из локалних извора; остварити мање транспортне тежине конструктивних елемената и применити енергетски мање захтевне облике транспорта. Како би се редуковала укупна потрошња материјала током животног циклуса зграде потребно је: обезбедити могућност поновне употребе

зграде кроз осигурање оптималне трајности и адекватног одржавања конструкције, кроз решење конструкције које омогућава промене намене простора, кроз осигурање могућности прилагођавања конструкције будућим стандардима и кроз обезбеђење робусности конструкције; остварити већу искоришћеност простора кроз адекватне димензије и позиције носећих елемената и просторну интеграцију инсталационих система и конструкције; остварити већи ниво функционалне интеграције елемената простора (у циљу елиминације потребе за завршним облогама) кроз одговарајућу форму конструкције и конструктивних елемената, одговарајућу текстуру и боју конструктивних материјала, као и кроз отпорност конструкције на агресивна дејства средине и ефикасно одржавање; остварити већу структуралну ефикасност конструкције кроз адекватну геометрију конструктивног склопа, адекватну геометрију попречних пресека и адекватну подужну геометрију елемента конструкције, као и кроз оптимално пројектоване материјале. Поред наведеног, у оквиру критеријума заштите животне средине, потребно је: редуковати оперативну енергију током фазе употребе зграде, кроз већу топлотну отпорност склопа, минимизовање топлотних мостова, већу заптивеност склопа, адекватну топлотну масу конструкције, адекватне боје видних конструктивних елемената, као и кроз већи ниво просторне и функционалне интеграције елемената простора; максимизовати употребу енергије из обновљивих извора у свим фазама животног циклуса конструкције; применити материјале чија производња не подразумева употребу хемикалија са потенцијалом за оштећење озонског омотача; обезбедити могућност поновне употребе елемената конструкције кроз обезбеђење оптималне трајности конструкције и осигурање могућности адекватног одржавања конструкције, кроз могућност разградње без већег оштећивања елемената и могућност разградње без великог утрошка енергије и времена, кроз већи ниво стандардизације компоненти и веза, као и кроз веће димензије попречног пресека; обезбедити већи потенцијал материјала и компоненти за будуће рециклирање; повећати удео материјала из примарних сировина из обновљивих извора; употребити сертификоване материјале и материјале са мањим ефектима експлоатације сировина на животну средину; применити системе који не подразумевају употребу амбалаже, кројење компоненти на лицу места, коришћење оплата за једнократну употребу; елиминисати материјале који садрже опасне материје, односно материјале који имају токсичне ефекте на



биоресурсе; осигурати већу ефикасност коришћења воде и обезбедити прикупљање, складиштење и поновну употребу отпадне воде; пречишћавати отпадне воде у процесима производње, изградње и одржавања конструкција; употребити материјале за које експлоатација сировина не подразумева губитак земљишта високог бонитета; употребити материјале са унапређеним процесима добијања сировина (рекултивација); применити адекватну боју видне конструкције на спољном омотачу, са циљем елиминације загревања околног ваздуха („топлотно острво“).

Интегрисано пројектовање конструкција засновано на критеријуму социјалних добробити за кориснике током фазе употребе зграде, има за циљ реализацију архитектонских простора који доприносе квалитету живота људи, односно животном задовољству, кроз очување и унапређење њиховог здравља, подстицање осећаја сигурности, угодности и склада са животним окружењем. Како би се остварило претходно потребно је осигурати заштиту и безбедност корисника преко: резерве у процењеним оптерећењима; осигурања робустности (дуктилност, континуитет, редувантност), деформабилности и „оштетљивости“ конструкције; редукације торзије зграде; адекватног положаја маса по вертикали; избегавања великих конзолних препуста; осигурања директнијих путања оптерећења; равномерније расподеле напона; избегавања или елиминације ирегуларности конструкције по вертикали и хоризонтали; примене негоривих и материјала отпорних према пожару у прописаном трајању; осигурања могућности да конструкција при дејству пожара, током захтеваног времена, очува носивост, интегритет и термоизолационо својство; примене адекватних мера за редуковање ефеката скупљања, бубрења и пузања материјала; примене адекватних мера за редуковање ефеката неравномерног слегања тла и померања ослонаца; осигурања адекватне носивости веза између елемената конструкције. Када је у питању остварење топлотног комфора потребно је: повећати топлотну отпорност склопа; минимизовати топлотне мостове; остварити већу заптивеност склопа и адекватну топлотну масу конструкције; применити адекватне боје видних конструктивних елемената; применити материјале који дају адекватне температуре унутрашњих површина; применити материјале са адекватним хигроскопским својствима. Како би се остварио ваздушни комфор потребно је: минимизовати присуство материјала који емитују штетне супстанце, радијацију и који имају непријатан мирис; редуковати

присуство материјала који могу ослобађати честице и микровлакана; редуковати присуства микроба, преко елиминација појаве претераног влажења у зони конструкције и појаве буђи (осигурати могућност измена ваздуха кроз омотач зграде, минимизовати топлотне мостове, обезбедити адекватне спојеве носећих елемената). Када је у питању остварење акустичког комфора при пројектовању конструкције треба размотрити следеће: вредност индекса звучне редуције; ниво изолације од звука удара; степен бочног превођења или индиректне трансмисије ваздушног звука и звука удара, као и акустичке перформансе материјала и склопа (време реверберације - коефицијент апсорпције, дифузност и прве рефлексије). Потребно је размотрити ниво електромагнетног загађења и у том контексту удео и позицију металних елемената у конструкцији. Поред наведеног, у оквиру критеријума социјалних добробити за кориснике током фазе употребе зграде, потребно је и осигурати ефикасност конструкције за жељени систем простора (димензије простора, релације између појединих зона, комуникационе везе између појединих зона), кроз осигурање могућности остварења жељене функције (улоге) простора и окупирање пресечних зона социјалних простора. Када је у питању погодност простора за пренамену потребно је: остварити одговарајући степен ослобођења простора од унутрашњих препрека (стубови и носећи зидови); омогућити једноставно прилагођавање система (посебно инсталационих); остварити решење спољног омотача зграде које омогућава интервенције у унутрашњем простору без радикалних измена спољног изгледа зграде; омогућити лаку раздвојивост оних елемената простора који имају значајно различит технички и економски век (карактер веза између конструктивних елемената и веза у оквиру композитних конструктивних елемената); омогућити лаку физичку раздвојивост кључних „слојева“ зграде (конструкције, инсталација и лаких унутрашњих преграда); остварити адекватне распоне конструкције и адекватну висина унутрашњих простора; остварити резерву у носивости конструкције; осигурати трајност конструкције, уз могућност лаких поправки, одржавања или замене компоненти конструкције (примена лако доступних материјала, примена стандардизованих компоненти, једноставност детаља конструкције); омогућити лако остварење веза нових конструктивних елемената са постојећом конструкцијом; остварити могућност лаког накнадног формирања отвора у површинским носећим елементима. Како би се осигурала лакоћа одржавања зграде

потребно је осигурати поузданост и оптималну трајност конструкције, односно минимална оштећења, и то пре свега: остварити резерву у носивости конструкције; применити материјале адекватног квалитета (испитани материјали, нереактивни материјали, материјали неосетљиви на влагу са малом подложности пропадању и трошењу); применити материјале на адекватан начин (деталји који елиминишу задржавање воде на елементима конструкције, редукована могућност за продор влаге кроз спојеве и пукотине, склопови који омогућавају исушивање, елиминација кондензације у зони конструкције, елиминација материјала који убрзавају пропадање другог материјала у вези, примена материјала са истим коефицијентом термалне експанзије); применити адекватан начин градње, извођења и одржавања. Како би се осигурала лакоћа одржавања зграде потребно је остварити: приступачност за одржавање конструкције (приступ свим деловима конструкције); малу учесталост одржавања; могућност лаке поправке; могућност замене виталних и лако трошивих или оштећењима подложних делова конструкције; комбинације материјала исте трајности у композитним системима и елементима уколико је раздвајање неизводљиво. Када је у питању адекватна визуелна стимулација корисника, односно степен усклађености нивоа и образаца визуелне стимулације са предвиђеном улогом архитектонског простора, конструкцију треба разматрати у контексту читљивости архитектонског простора, визуелне комплексности простора, кохерентности сегмената простора, могућности схватања употребне вредности простора и његових делова од стране корисника, као и у контексту остварења адекватаног културалног симболичког система. Када је у питању читљивост простора, конструкција треба да буде анализирана у контексту аспеката светлосног комфора (могућност формирања отвора - могуће величине, облици и позиције отвора; адекватни облици елемената конструкције; адекватна структуре, боје и текстуре материјала видне конструкције - степен транспарентности и рефлексије), као и у контексту идентификовања и организовања визуелних пространих информација у кохерентни образац (адекватни облици елемената конструкције; адекватне структуре, боје и текстуре материјала видне конструкције). Такође, потребно је размотрити допринос конструкције нивоу визуелне комплексности простора (број елемената конструкције; хетерогеност елемената по облику, боји и текстури; ирегуларност облика и диспозиције елемената), примарно кроз ниво уређености (могућност да делови буду „виђени“ у

смислу њихове улоге у оквиру веће интегралне целине - комплексни ред), као и кроз ниво хармоничности, односно степен сагласја и непостојања дисонантности у односима елемената конструкције и простора као целине. Конструкција треба да буде разматрана и по питању нивоа кохерентности сегмената простора, односно конзистентности на апстрактном нивоу (вишеструке, понављајуће одлике, основни израз правила и тематског континуитета). Неопходно је и разматрање могућности схватања употребне вредности простора и његових делова, односно асоцијативног оквира у складу са наменом простора и културолошки условљеним очекивањима корисника (степен типичности), примарно кроз могућност читавања структуралне логике и могућност читавања физичко-хемијске димензије елемената конструкције. Поред разматрања конструкције у контексту прва два нивоа сагледавања архитектонских простора, површинског-презентационог и асоцијативног-репрезентационог, конструкција треба да буде размотрена и у контексту трећег нивоа „сагледавања“ - симболичког нивоа, који се тиче симболичког значења које корисници додељују архитектонским просторима и њиховим деловима. Разматра се адекватност културалног симболичког система, односно симболичка значења облика и материјала видне конструкције.

**У трећем сегменту истраживања** анализирано је пројектовање фeroцементa и конструкција заснованих на његовој примени у складу са успостављеним критеријумима за интегрисано пројектовање и вредновање конструкција зграда. Feroцемент, као композитни материјал, је разматран као подсистем конструкције зграде. Његово пројектовање је анализирано кроз односе и везе са подсистемом вишег реда – конструкцијом зграде и системом-зградом, као и кроз његово понашање усмерено ка постизању циља система-зграде - еколошког квалитета.

Испитивање пројектовања састава фeroцементa је показало да на карактеристике фeroцементa у великој мери утичу тип, квантитет, оријентација и чврстоћа примењених мрежа за армирање. Малтерску смешу за справљање фeroцементa треба пројектовати у складу са локалним условима окружења. Када је конструкција изложена агресивним дејствима, морају се користити додаци или премази да би се побољшала трајност.

Фероцементни елементи и конструкције се изводе применом бројних поступака. Све методе подразумевају висок степен контроле квалитета како би се постигло потпуно обухватање неколико слојева арматурне мреже са добро набијеним малтером, односно са минимумом заробљеног ваздуха, како би се осигурала трајност елемената, али и унапредила његова визуелна својства, која су у великој мери условљена начином извођења (уједначеност површине, равномерност обојености).

Испитивања и посматрања која се спроводе током пројектовања, изградње и радног века фероцементних конструкција треба да укључе: испитивања физичких, хемијских и механичких карактеристика компоненталних материјала; контролу карактеристика свежег малтера; испитивање физичко-механичких карактеристика очврслог композита; испитивања материјала током радног века конструкције.

Конструкције и конструктивни елементи од фероцемента морају имати носивост у свим пресецима у складу са одредбама Правилника о техничким нормативима за бетон и армирани бетон. Номинална носивост пресека треба да буде помножена са фактором редукције  $\phi$ , који је увек мањи од 1, како би се узели у обзир недостаци везани за извођење, нетачност примењених једначина, процењени степен дуктилности елемената, као и захтевана поузданост елемената. У случају фероцементних конструкција треба користити веће вредности коефицијената сигурности у односу на класичан армирани бетон, обзиром на малу дебљину попречног пресека и на значајно мањи однос сталног и покретног оптерећења. Када је у питању понашање фероцемента при затезању треба имати у виду да фероцемент доживљава велике деформације пре лома. Дуктилност фероцемента расте са порастом специфичне површине арматуре и запреминског удела арматуре. Чврстоћа на затезање фероцемента при првој структуралној прслини директно је пропорционална специфичној површини арматуре. Тип мреже и њена оријентација утичу чврстоћу на затезање фероцемента, на модул еластичности композита при затезању и облик напонско-деформацијске криве. Номинална носивост испрског фероцементног елемента оптерећеног на чисто затезање може се апроксимирати само са носивошћу мрежасте арматуре у правцу деловања оптерећења. Модул еластичности испрског композита зависи од бројних параметара укључујући запремински удео арматуре и ниво испрсклости композита. За примену код већих распона и за производњу великих серија елемената, препоручује се да се модул

еластичности за испрскали фeroцемент одреди на основу експерименталних истраживања. Номинална носивост фeroцементних пресека оптерећених на једноаксијални притисак добија се суперпонирањем носивости на притисак неармираног малтера и носивости на притисак мрежне арматуре. Модул еластичности малтера при притиску зависи примарно од марке малтера. Треба имати у виду да носивост фeroцементна на притисак може бити мања од носивости малтера без мрежне арматуре, због појаве раслојавања, односно раздвајања малтера услед попречних напона затезања, као и због појаве извијања мрежне арматуре при притиску. При савијању фeroцементних елемената јављају се комбиновани утицаји параметара који контролишу особине фeroцементна при притиску и затезању. Висина попречног пресека и чврстоћа малтера при притиску имају мало утицаја на носивост фeroцементна при савијању. Са друге стране, тип, геометрија, оријентација и количина арматурних мрежа, заједно са њиховом позицијом у односу на неутралну осу и њиховим међусобним распоредом, су фактори који у највећој мери утичу на чврстоћу фeroцементна на савијање. Чврстоћа и деформације фeroцементних елемената при савијању су условљени превасходно напоном течења у арматури и запреминским уделом арматуре у правцу дејства оптерећења. При савијању фeroцементни елементи показују пун развој прслина већ при раним фазама оптерећивања. Када је у питању носивост фeroцементних пресека оптерећених на смицање, треба имати у виду да лом услед смицања најчешће није карактеристичан за фeroцементне елементе. У том смислу, фeroцемент нема посебно предвиђену арматуру за прихватање смичућих сила, осим веза које везују слојеве мрежа.

Елементи и конструкције од фeroцементна морају да задовоље захтеве употребљивости према Правилнику о техничким нормативима за бетон и армирани бетон, изузев по питању дебљине заштитног слоја. На понашање фeroцементна по питању прслина утичу пре свега особине мрежне арматуре (геометрија мрежа, њихова дуктилност), као и количина мрежне арматуре и специфична површина арматуре. Треба имати у виду да у случају савијања фeroцементних елемената угиби најчешће превазилазе критеријуме употребљивости пре него ширина прслина, односно да ће вредност угиба најчешће бити примарни критеријум при пројектовању.

У случају фероцементних конструкција, обзиром на то да су у питању танкозидни елементи, критични напони избочавања и извијања често могу бити основна мера сигурности. У том смислу при пројектовању је потребно посебно имати у виду аспекте стабилности фероцементне конструкције, која може бити знатно унапређена савијањем или набирањем фероцементних површина, као и увођењем ребара.

При анализи пројектованих решења са аспекта механичког понашања, треба имати у виду да је нумеричка анализа фероцементних конструкција, чији ће резултати одговарати понашању реалне конструкције, у великој мери лимитирана. Прецизно одређење напона и дилатација је често отежано, посебно у случају елемената сложене геометрије. Такође, у случају фероцементних конструкција постоји могућност преурањеног лома услед појаве локалног избочавања и извијања. Губитак носивости може да наступи и услед појаве дробљења и прслина, односно услед нелинеарног понашања фероцемента при дејству оптерећења. Поред наведеног, занемаривање геометријске нелинеарности при нумеричкој анализи фероцементних конструкција може дати нетачне резултате, обзиром на то да фероцементне конструкције могу доживети велике деформације пре појаве прслина и велике угибе пре колапса. Одступање у резултатима у односу на реалну конструкцију, може бити и последица непрецизности при извођењу (која код фероцемента има веће ефекте на понашање, обзиром на малу дебљину елемената). Обзиром на наведено, у оквиру статичких прорачуна, за случајеве примене мањег обима, примењује се линеарна нумеричка анализа која даје оквирне резултате (занемарују се ефекти материјалне и геометријске нелинеарности), у оквиру које се фероцемент моделује као хомогенизован еквивалентни материјал, са механичким својствима изведеним из експерименталних тестирања. За случајеве примене већег обима препоручују се експериментална истраживања реалних фероцементних склопова, са циљем утврђивања реалног механичког понашања.

Када је у питању пројектовање фероцементних конструкција са аспекта трајности треба имати у виду да је фероцемент осетљив на дејство загађивача из ваздуха, промену температуру средине и промене влажности. Узрок пропадања фероцементних конструкција може бити деградација малтера и корозија челичне арматуре. Фероцементне конструкције треба пројектовати у складу са условима

изложености и специфичностима локације. Подела услова изложености је иста као и за класичан армирани бетон. При пројектовању фeroцементa за животни циклус треба применити адекватне садејствујуће мере које треба да осигурају захтевану трајност. Потребно је осигурати адекватан квалитет малтера, са малом пермеабилношћу и порозношћу, као и адекватну дебљину заштитног слоја. Додаци малтеру, као што су летећи пепео, силикатна прашина, аеранти, полимери, могу унапредити његову трајност. Како би се редуковала корозија потребно је применити галванизоване челичне мреже (могућа је и примена мрежа пресвучених епоксидом, мрежа од нерђајућег челика и неметалних мрежа). У високо агресивним окружењима може бити неопходна примена површинских заштитних премаза, који треба да буду паропропусни. Када су у питању изложене фeroцементне конструкције посебна пажња треба да буде посвећена обликовању склопа, са циљем избегавања локалне концентрације штетних супстанци и адекватног дренарања свих површина. Посебна пажња треба да буде посвећена прслинама, које воде порасту корозионе активности и убрзавају пропадање фeroцементa. Напрезања у конструкцији која могу водити ка појави великих локалних прслина треба да буду избегнута.

Фeroцементне конструкције треба да буду пројектоване тако да се омогући њихово редовно прегледање и одржавање током животног века, које пре свега подразумева откривање и попуњавање шупљина, замену оштећеног слоја малтера и козметички третман површинских мрља.

Када је у питању пројектовање фeroцементних конструкција на дејство пожара, треба имати у виду да фeroцемент спада у негориве материјале. Међутим, механичко понашање фeroцементних елемената при дејству пожара није задовољавајуће. У просеку отпорност на пожар носећих фeroцементних елемената, који нису део композитног склопа, је само 30 минута. У том контексту, фeroцемент треба применити у оквиру сендвич или композитних елемената, са циљем повећања отпорности конструкције на пожар.

Испитивање видова примене фeroцементa у конструкцијама зграда је указало на то да су функционалне и обликовне могућности које нуди фeroцемент као конструктивни материјал веома широке. Фeroцемент може бити примењен за ојачавање постојећих конструкција, посебно у сеизмички активним зонама, обзиром на то да се његовом применом повећава дуктилност и носивост постојеће



конструкције, посебно при затезању и смицању, уз већу контролу прелина. Фероцемент може бити примењен за израду танких секундарних кровних плоча, танких фасадних конзолних елемената за заштиту од сунца, конзолних елемената за израду степеништа. Фероцемент се примењује за израду стубова и гредних носача, сложених попречних пресека, налик онима у челику. Могућа је и примена фероцемента у оквиру композитних гредних носача сложене геометрије, у садејству са класичним армираним бетоном. Фероцемент налази своју масовну примену и за израду закривљених и набораних гредних елемената међуспратних и кровних конструкција мањег распона, чијом се употребом може остварити редуција тежине конструкције и до 60%, у односу на класичне армиранобетонске плоче. Фероцемент се примењује за израду цилиндричних кровних љуски, купола и за израду љуски слободних форми, применом арматурног система. Уколико је реч о већим распонима ове љуске се најчешће ојачавају монолитно везаним фероцементним ребрима. У употреби је и систем заснован на реализацији двоструке фероцементне љуске са интегралном оплатом, коју чине панели од полистирена са уграђеном арматуром, која има улогу да оствари заједнички рад фероцементних љуски. Фероцемент је погодан материјал за израду елемената кровних конструкција мале тежине у виду набораних љуски, љуски са двоструком кривином и таласастих љуски, у оквиру масовне префабриковане производње. У поређењу са армиранобетонским кровним љускама, може бити остварена уштеда у потрошњи бетона и до 50%, посебно уколико се примени преднапрезање. Фероцемент налази своју ширу примену и за израду префабрикованих панела мале тежине, који се користе за изградњу приземних и једноспратних зграда. Префабриковани фероцементни троугаони сендвич панели, са средишњим слојем од полистирена, су основни елемент система који се примењује за израду монолитних геодезијских купола. Фероцемент налази своју широку примену и у склопу композитних система, у садејству са класичним армираним бетоном. У оквиру система овог типа фероцементни елементи се најчешће користе као потпуно или делимично уграђена оплата, чиме се избегава примена дрвене оплате, чија је израда у случају сложених облика, материјално и временски захтеван процес. Поред елиминације оплате ови системи, засновани на префабрикацији фероцементних елемената, која омогућава прецизно и квалитетно извођење завршних површина, елиминишу и потребу за завршним облогама. Поред

унапређења процеса грађења и визуелних својства конструкције, применом фeroцементa у садејству са класичним армираним бетоном постижу се и боље механичке карактеристике и трајнија конструкција, у односу на примену искључиво класичног армираног бетона. Поред садејства са класичним армираним бетоном, фeroцемент се често примењује и у садејству са челичним линијским носећим елементима. Фeroцемент се у оквиру ових система монолитно везује за челични скелет, у виду “опне” која монолитизује челичну структуру, доприноси већој структуралној ефикасности, носивости, крутости и стабилности конструктивног склопа, са високим односом носивости према тежини. Тежина овог типа конструкција може бити до 60% мања од класичних армиранобетонских и до 80% мања од класичних зиданих конструкција са армиранобетонским серклажима. Фeroцемент се у комбинацији са челичним профилима користи и као двострана уграђена оплата за реализацију зидова од класичног армираног бетона, у оквиру објеката веће спратности. Захваљујући фeroцементној „опни“ систем поседује већу дуктилност од система са класичним армиранобетонским зидовима, односно већу отпорност при дејству земљотреса. У примену улазе и композитни системи засновани на садејству фeroцементa, челичних линијских носећих елемената и класичног армираног бетона.

У оквиру истраживања су вредновани еколошких ефекти примене фeroцементa у оквиру конструкција зграда, у складу са критеријумом заштите животне средине током животног циклуса зграда и критеријумом социјалних добробити током фазе употребе зграда.

Применом фeroцементних конструкција се редукују CO<sub>2</sub> емисије у вези са производњом цемента и челика, у поређењу са армиранобетонским. Са друге стране, фeroцементне конструкције често подразумевају додатне слојеве изолационих материјала који могу имати негативне ефекте на озонски омотач. Уграђена енергија фeroцементних конструкција је знатно редукована у односу на армиранобетонске. Када је у питању захтев за оперативном енергијом зграде, при примени фeroцементa потребни су додатни термоизолациони слојеви како би се осигурала прописана топлотна отпорност. Када је у питању појава топлотних мостова, повољнији су склопови који подразумевају континуитет термоизолационог слоја. По питању заптивености склопа повољнији су монолитни фeroцементни склопови. Када је у

питању топлотна маса, фeroцементни елементи могу бити незадовољавајући по питању дебљине, што може захтевати инкорпорирање додатних слојева материјала одговарајућих термалних карактеристика. Фeroцементни носећи елементи сложеног попречног пресека су посебно повољни обзиром на могућност интеграције машинских, електро и инсталација осветљења у зони конструкције. Фeroцементни носећи елементи могу бити обликовани на начин који омогућава интеграцију елемената конструкције и система за вентилацију унутрашњих простора зграде, као и на начин који доприноси остварењу адекватних акустичких и светлосних перформанси простора. Када је у питању аспект адаптивности простора, фeroцементни елементи могу представљати ограничење обзиром на редуковану могућност лаког накнадног формирања отвора у оквиру елемената. У случају примене фeroцементних носећих елемената могућа је функционална интеграција елемената простора. Површински фeroцементни конструктивни елементи, поред носеће функције, могу преузети и функцију омотача зграде, као и функцију завршних унутрашњих површина, чиме се елиминише потреба за завршним облогама, посебно имајући у виду могућност адекватне обраде завршних површина, односно остварења одговарајуће текстуре и боје материјала. Посебну погодност при примени фeroцементна као спољног омотача зграде, представља његова отпорност на агресивна дејства средине. Када је у питању редукација количине материјала, применом фeroцементних конструкција остварује се уштеда у потрошњи мешавине и до 50% и потрошњи челика до 20%, у односу на армиранобетонске конструкције. Поновна употреба фeroцементних конструкција је лимитирана, обзиром на отежану могућност разградње без оштећивања. У оквиру фeroцементних конструкција могу се применити материјали добијени процесом рециклаже и материјали из отпада. Редукација количине примарних сировина у оквиру носећих фeroцементних конструкција је остварива и кроз примену нуспроизвода. Фeroцементне конструкције имају мали потенцијал за будуће рециклирање. У случају примене фeroцементних конструкција, обзиром на мању количину уграђених материјала, редукује се количина грађевинског отпада насталог рушењем. Повољност фeroцементних конструкција, када је у питању редукација количине отпада је у могућности елиминације употребе дрвене оплате које чини знатан део отпада који се генерише током извођења армиранобетонских конструкција. Када је у питању

редукција удела опасног отпада фeroцементне конструкције су посебно повољне обзиром на то да не садрже опасне материје. За фeroцементне конструкције нису карактеристични токсични ефекти на биоресурсе.

Када је у питању сигурност људи при дејству елементарних непогода фeroцементне монолитне конструкције су се показале као поуздане и издржљиве. Оне могу да доживе велике деформације без колапса, претрпевши минимална оштећења. Фeroцементне конструкције имају малу отпорност према пожару, тако да је неопходна примена фeroцементa у склопу сендвич или композитних елемената. Када је у питању остварење топлотног комфора, у случају фeroцементних конструкција су неопходни додатни термоизолациони слојеви. Када је у питању квалитет унутрашњег ваздуха фeroцемент се може сматрати безбедним материјалом, практично без емисија штетних гасова, честица и микровлакана. Обзиром на малу пропусност за ваздух фeroцементa, површински носећи елементи у зони омотача зграде, редукују могућност измена ваздуха кроз омотач, што може повећати ризике у вези са појавом влажења елемената и буђи. Фeroцементне једнослојне површинске елементе, обзиром на малу дебљину, одликује велика проводљивост звука, односно мала изолациона моћ. Фeroцементни сендвич или ошупљени елементи имају адекватна акустичких својстава, али су склони резонанцији и може бити потребно додавање апсорпционих материјала у шупљине. Када је у питању изолација од звука удара фeroцементне међуспратне конструкције, подразумевају додатне слојеве пода. Може бити неопходна и уградња пливајућих подова како би се редуковале вибрације унутар таваничног елемента и бочно превођење. Фeroцементне конструкције и елементи су, обзиром на могућност њиховог слободног обликовања, погодни када је у питању реализација конструктивних склопова у складу са жељеним акустичким квалитетима унутрашњих простора. Пројектовањем текстуре фeroцементa и облика елемената, може се управљати појавама у звучном пољу. Фeroцементни површински носећи елементи могу појачати ефекте електромагнетне радијације у унутрашњим просторима, услед рефлексија и суперпонирања електромагнетних таласа. Фeroцементне конструкције су погодне са аспекта њиховог прилагођавања форми простора коју захтева социјална акција. Када је у питању погодност простора за пренамену фeroцементни елементи могу представљати ограничење обзиром на редуковану могућност лаког накнадног формирања отвора у оквиру елемената

конструкције, као и отежаног остварења веза нових конструктивних елемената са постојећом конструкцијом. Фероцементне конструкције уколико су пројектоване у складу са специфичним условима у окружењу и адекватно изведене, омогућавају ефикасно одржавање током очекиваног употребног века, уз минимум улагања људских, материјалних и финансијских ресурса. У том смислу, није погодна њихова примена у комбинацији са материјалима мање трајности уколико је онемогућено раздвајање. Поправке се изводе на једноставан начин, са лако доступним материјалима. Поправка оштећеног видног фероцемента може бити проблематична са визуелног аспекта, обзиром на редуковану могућност добијања малтера идентичне боје. Повољнија су решења са интегралном бојом. Фероцементне конструкције су погодне када је у питању аспект светлосног комфора, обзиром на то да омогућавају слободно обликовање елемената склопа са циљем манипулисања светлом, слободу формирања отвора, као и слободу у креирању структуре, текстуре и боје фероцемента. Фероцемент у својој „природној“ боји (“не-боји”), чија је основа сива, од стране лаика може бити оцењен као „хладан“. Уколико се изведе у топлој боји биће оцењен као „топао“. Фероцементне конструкције могу, кроз меке форме, без оштрих ивица, изазвати осећај пријатности. Фероцемент, који је у визуелном смислу налик бетону fine структуре или грубом малтеру, доживљава се на европском тлу као „неутрални“ материјал, и тиме сврстава у материјале погодне за компоновање простора различитих асоцијативних вредности. Са друге стране, симболичка значења која се додељују фероцементу условљена су културалним и персоналним симболичким системом.

Добијени резултати истраживања указују на комплексне условљености многоструких аспеката пројектовања конструкција и конструктивних материјала у оквиру интегрисаног приступа пројектовању зграда, усмереног ка остварењу еколошког квалитета зграда. Резултати истраживања проширују истраживачку основу и научну интерпретацију истраживаног поља и доприносе дубљем и потпунијем разумевању сложености и плуралности одговора у до сада недовољно покривеном истраживачком пољу архитектуре и архитектонског конструкторства. Истражени методолошки концепт интегрисаног пројектовања и вредновања конструкција и конструктивних материјала у практичној операционализацији има за

циљ конципирање зграда различитих квантитативних и квалитативних својства, са једним заједничким вишим својством - еколошким квалитетом.

## ЗАКЉУЧАК И ПРАВЦИ ДАЉИХ ИСТРАЖИВАЊА

Претходно истраживање започело је питањем: По којим принципима треба пројектовати конструкције засноване на примени фeroцементa да би се омогућило постизање еколошког квалитета зграда који је у складу са препорукама за одрживи развој грађења? Као одговор на ово питање постављена је хипотеза у истраживању, по којој интегрисано пројектовање конструкција заснованих на примени фeroцементa омогућава постизање еколошког квалитета зграда који је у складу са препорукама за одрживи развој грађења.

У истраживању су постављене теоријске основе методолошког концепта интегрисаног пројектовања конструкција зграда у оквиру интегрисаног приступа пројектовању и вредновању зграда, у функцији остварења еколошког квалитета који је у складу са препорукама за одрживи развој грађења. Објашњени су и установљени општи принципи пројектовања конструкција зграда у складу са интегрисаним пројектним циљевима, који произилазе из индикатора еколошког квалитета зграде, који су затим изражени кроз критеријуме за интегрисано пројектовање и вредновање конструкција зграда, усклађене са квантитативним и квалитативним индикаторима еколошког квалитета зграде. Кроз испитивање принципа пројектовања фeroцементa и конструкција заснованих на његовој примени у складу са изведеним квантитативним и квалитативним критеријумима за интегрисано пројектовање и вредновање конструкција зграда, постављена је теоријско-методолошка основа пројектовања и вредновања конструктивних материјала у оквиру интегрисаног приступа пројектовању зграда, односно продубљена је и проширена сазнајна основа за примену конструктивних материјала у пракси оријентисаној ка одрживом грађењу.

Полазна хипотеза је истраживањем проверена и потврђена. Имајући у виду резултате истраживања, нови “услови” пројектовања зграда, који према Закону о планирању и изградњи Републике Србије треба да „обезбеде одрживу градњу”,<sup>607</sup> односно еколошки квалитет зграда, пре свега треба да се заснивају на интеграцији пројектних циљева и интегралној процени квалитета пројектованих решења током животног циклуса, у складу са квантитативним и квалитативним индикаторима

---

<sup>607</sup> Закон о планирању и изградњи Републике Србије ("Сл. гласник РС", бр. 72/2009, 81/2009 - испр., 64/2010 - одлука УС, 24/2011, 121/2012, 42/2013 - одлука УС и 50/2013 - одлука УС), члан 2, став 1.

еколошког квалитета. Интегрисано пројектовање конструкција, односно пројектовање конструкција у оквиру интегрисаног приступа пројектовању и вредновању зграда, у функцији остварења еколошког квалитета, треба да се заснива на системском приступу, у оквиру кога се конструкција зграде посматра као функционална јединица, односно као подсистем зграде, чије је понашање усмерено ка циљу система/зграде - еколошком квалитету. У том смислу, основ за пројектовање конструкције треба да буду интегрисани пројектни циљеви, који произилазе из квантитативних и квалитативних индикатора еколошког квалитета зграда. У питању је системски приступ који за свој резултат у практичној операционализацији има конципирање система-зграда различитих односа и веза између подсистема, конструкције и конструктивних материјала, односно конципирање зграда различитих квантитативних и квалитативних својства, са једним заједничким вишим својством – еколошким квалитетом. С' обзиром на комплексну природу оваквог вида пројектовања зграда и архитектонских конструкција, које подразумева проучавање проблема система-зграда са становишта различитих међусобно повезаних дисциплина, као и стратегију истраживања које прелази границе основне дисциплине, истраживањем је указано на неопходност проширења истраживачке основе и научне интерпретације истраживачког поља, архитектуре и архитектонског конструктерства, на додирне области истраживања, и то пре свега на филозофију, теорију система, хуману екологију, социологију, економију и енвајронменталну психологију. Циљ проширења истраживачке основе везан је за могућност спознавања комплексних условљености многоструких аспеката у области архитектонског конструктерства усмереног ка остварењу еколошког квалитета зграда, као и за могућност дубљег и потпунијег разумевања сложености и плуралности одговора у домену ове области у функцији подизања нивоа одрживости градње.

Истраживање методолошког концепта интегрисаног пројектовања и вредновања конструкција и конструктивних материјала, у оквиру интегрисаног приступа пројектовању зграда, у функцији остварења еколошког квалитета, указало је на потребу за даљим истраживањима везаним за развој механизма и стратегија потребних за имплементацију овог концепта у пројектантској пракси.



Имајући у виду чињеницу да процес интегрисаног пројектовања подразумева системско мишљење и континуирану интеракцију свих учесника већ у раним фазама планирања и пројектовања зграда, отварају се бројна истраживачка питања, међу којима се посебно издваја питање развоја стратегија комуникације између дисциплина, односно питање ефективне комуникације у оквиру пројектантског тима. Питање ефективне комуникације је значајно обзиром на потребу за раном и унапређеном интеграцијом знања, у процесу у коме се укидају границе између дисциплина, како у погледу компетенција тако и у погледу одговорности. Поред развоја стратегија комуникације, потребно је развијати и механизме за рано итеративно истраживање међуусловљености интегрисаних пројектних циљева и пројектних ограничења, у процесу чији је циљ мултидисциплинарна оптимизација пројектованих решења. Мултидисциплинарна оптимизација претпоставља и методе за ефикасан трансфер података међу дисциплинама у вези са оствареним перформансама, у функцији евалуације решења. У овом процесу је кључно даље истраживање и развој моделовања решења, које треба да се заснива на повезаним моделима различитих дисциплина. Посебан изазов тиче се развоја ефикасних симулационих алата за моделовање и анализу варијантних решења, који интегришу различите физичке феномене.

Информисано одлучивање у процесу интегрисаног пројектовања, треба да се заснива и на спознавању потреба и захтева корисника. Наведено подразумева даља истраживања која се тичу стратегија и механизма који треба да осигурају активно учешће корисника зграда у процесу пројектовања.

Потребно је истражити и нове моделе едукације пројектаната укључених у процес пројектовања зграда, са циљем да се оспособе за оптимизацију решења засновану на многоструким анализама бројних аспеката еколошког квалитета. Потребно је развити стратегије истраживања које прелазе границе дисциплина, као и проучавати проблеме система-зграда са становишта различитих интерактивно повезаних дисциплина. Модели едукације треба да се заснивају на холистичком погледу на пројектовање, где се пракса, истраживање и едукација интегришу у јединствен процес, у оквиру

кога се подстиче критичко мишљење, које се заснива на претпоставкама и питањима која се тичу изналажења бројних могућих решења.

Поред унапређења образовног процеса, имплементација концепта интегрисаног пројектовања у пројектантској пракси подразумева и даље унапређење законског оквира за планирање и изградњу, као и увођење одговарајућих стандарда, који ће укључити општи оквир за процену еколошког квалитета зграда, односно оквир за процену утицаја зграда на животну средину, процену социјалних перформанси и процену економских перформанси зграда. Ово подразумева и даљи развој одговарајуће терминологије за изражавање података о зградама и њиховим компонентама у оквиру прописа и стандарда. У процесу унапређења закона и увођења стандарда везаних за планирање и изградњу, кључно је остваривање сарадње између владиних сектора, сектора привреде и научно-истраживачких институција.

Потребно је истражити и моделе контроле квалитета, који треба да се заснивају на упоредној анализи пројектованих и остварених перформанси зграда и њихових компоненти. Испитивање изграђених капацитета треба да идентификује слабости концепата и укаже на правце даљих истраживачких активности у функцији унапређења еколошког квалитета.

За „обезбеђење одрживе градње“<sup>608</sup> интегрисано пројектовање и вредновање зграда јесте „есенцијално“,<sup>609</sup> али треба имати у виду и чињеницу да „има много тога што треба научити о алатима и вештинама које су нам потребне“<sup>610</sup> како би се осигурала ефективна примена овог методолошког концепта у пројектантској пракси.

---

<sup>608</sup> Закон о планирању и изградњи Републике Србије ("Сл. гласник РС", бр. 72/2009, 81/2009 - испр., 64/2010 - одлука УС, 24/2011, 121/2012, 42/2013 - одлука УС и 50/2013 - одлука УС), члан 2, став 1.

<sup>609</sup> Peter Head, „Comments on Professor Laura Lee's Final Report“. Quoted at Adelaide Thinkers in Residence, Accessed July 13, 2011. <http://www.thinkers.sa.gov.au/Thinkers/Lee/finalreport.aspx>

<sup>610</sup> Ibid.

## ЛІТЕРАТУРА

1. „'Abdu'l-Bahá Letter to Forel“. In *For the Good of Mankind - August Forel & the Bahá'í Faith*, edited by J.P. Vader. George Ronald, Oxford, 1984. Quoted in Kitzing, Eberhard. „Origin of Complex Order in Biology: Abdu'l-Baha's concept of the originality of species compared to concepts in modern biology“. In *Evolution and Bahá'í Belief: 'Abdu'l-Bahá's Response to Nineteenth-Century Darwinism, Studies in the Bábi and Bahá'í Religions*, V.12, edited by K. Brown, 137-252. Los Angeles: Kalimat Press, 2001, 175.
2. Abdullah, and T. Katsuki. „Strength and behavior of concrete confined by ferrocement boxes“. *Journal of Ferrocement* 4, (2002): 304-314.
3. Abdullah, and M.A. Mansur. „Effect of Mesh Orientation on Tensile Response of Ferrocement“. *Journal of Ferrocement* 31, no.4 (2001): 289-298.
4. Abel, Chris. *Architecture, Technology and Process*. Routledge, 2004.
5. Abercrombie, Stanley. *Ferrocement: Building with cement, sand, and wire mesh*. New York: Schocken Books, 1977.
6. Abruzzese, Donato. „Model for Ferrocement Thin Walled Structures“. In *Thin-Walled Structures - Advances and Developments*, edited by J. Zaras, K. Kowal-Michalska, and J. Rhodes, 269-276. Elsevier Science Ltd, 2001.
7. ACI Committee 232. *Use of Fly Ash in Concrete*. Farmington Hills: American Concrete Institute, 2004.
8. ACI Committee 318. *Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-08) and Commentary*. Farmington Hills: American Concrete Institute, 2008.
9. ACI Committee 549. *Guide for the Design, Construction, and Repair of Ferrocement, ACI 549.1R-88*. Farmington Hills: American Concrete Institute, 1988.
10. ACI Committee 549. *State-of-the-Art Report on Ferrocement, ACI 549R-97*. Farmington Hills: American Concrete Institute, 1997.
11. ACI Committee 549. *Guide for the Design, Construction, and Repair of Ferrocement, ACI 549.1R-93*, reapproved 1999. Farmington Hills: American Concrete Institute, 1999.

12. Aćić, M., i M. Muravljov. *Eksperimentalna istraživanja ponašanja materijala za ferocement i nosećih elemenata od ferocementa* (Istraživački izveštaj). Beograd: Institut za materijale i konstrukcije, 2002.
13. Adajar, J.C., T. Hogue, and C. Jordan. „Ferrocement for Hurricane-Prone State of Florida“ (paper presented at the 11th International Conference on Structural Faults + Repair, Edinburgh, Scotland, 2006).
14. Addis, Bill. *Building with Reclaimed Components and Materials: A Design Handbook for Reuse and Recycling*. Routledge, 2006.
15. Adelaide Thinkers in Residence. „Lee Laura, 2009, Sustainable Futures: An integrated design strategy for South Australia“. Accessed July 13, 2011. <http://www.thinkers.sa.gov.au/Thinkers/Lee/finalreport.aspx>
16. Adelson, Edward. „On Seeing Stuff: The Perception of Materials by Humans and Machines“. In *Proceedings of SPIE Vol. 4299: Human Vision and Electronic Imaging VI*, edited by B. E. Rogowitz, T.J. Watson, and T. N. Pappas, 1-12. Bellingham, WA: SPIE, 2001.
17. Akhtar, S., M. Arif, and A.Q. Mumtaz. „Use of Chemical Corrosion Inhibitors for Protection of Metallic Fibre Reinforcement in Ferrocement Composites“. *The Arabian Journal for Science and Engineering* 34(2C), 2009.
18. Alami, F., A. Djausal, and A.Yajid. „Dynamic analysis of ferrocement regunana zoo after 24 years of service“. In *Ferro-9 - Proceeding of the 9<sup>th</sup> International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites: Green Technology for Housing and Infrastructure Construction*, edited by A. Djausal, F. Alami, and A. E. Naaman, 163-176. Bandar Lampung: The University of Lampung, 2009.
19. Alexander, C., S. Ishikawa, and M. Silverstein. *A Pattern Language: Towns, Buildings, Construction*. Oxford University Press, 1977.
20. Al-Kubaisy, and M.Z. Jumatt. „Crack control of reinforced concrete members using ferrocement tension zone layer“. *Journal of Ferrocement* 35, no.1 (2005): 490–499.
21. Al-Rifai, W.N, and A.H.K. Al-Shukur. „Effects of Wetting and Drying Cycles in Fresh Water on the Flexural Strength of Ferrocement“. *Journal of Ferrocement* 31, no.2 (2001): 101-108.
22. Al-Rifaie, W.N. „Modern Housing System using Ferrocement As Sustainable Construction Materials.“ University of Tikrit, Iraq. (n.d.).

23. Al-Sulaimani, G.J, and I.A. Basunbal. „Behaviour of Ferrocement under Direct Shear“. *Journal of Ferrocement* 21, no.2 (1991): 109-117.
24. Al-Sulaimani, G.J., I.A. Basunbul, and E.A. Mousselhy. „Shear behavior of ferrocement box beams“. *Cement and Concrete Composites, Special Issue on Ferrocement* 13, no.1 (1991): 29–36.
25. Alwash, Abdul Salam. „Flexural Characteristics of Ferrocement“. M.Sc. Thesis, University of Baghdad, 1974.
26. Alwash, Abdul Salam. „Flexural Behaviour of Ferrocement“. PhD diss., University of Sheffield, 1982. <http://etheses.whiterose.ac.uk/2949/1/DX088913.pdf>
27. Амирович, Х. „Технология армоцементных конструкций высокой огнестойкости с теплозащитным слоем из эффективного легкого бетона“. Диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук, Ростов-на-Дону, 2007.
28. Andal, L., M.S. Palanichamy, and M. Sekar. „Strength and durability of polymer and fly ash modified ferrocement roofing/flooring elements“ (paper presented at the 33rd Conference on Our World in Concrete and Structures, Singapore, 2008).
29. Angrisani, E. “Space and architecture: new materials modifying the urban environment”, lecture notes of Dipartimento di Innovazione Tecnologica e Cultura dell’Ambiente, Università degli Studi di Roma “La Sapienza”- Prima Facoltà di Architettura “Ludovico Quaroni”, Italy, n.d. Mozaikci, Begum. „Innovated Building Material’s Interactions with Structural Form in Architectural Projects“. Master Thesis, Eastern Mediterranean University, 2009, 17.
30. Anshori, D., A. Fikri, H. Masdar, and S. Susilo. „Ferrocement in Indonesia: Its applications and potentials“. *Journal of ferrocement* 31, no.4 (2001): 311-318.
31. Anwar, N., P. Warnitchai, and T. Keerati. „Finite element based analysis and design of sandwich panel structures“. In *Ferro-9 - Proceeding of the 9<sup>th</sup> International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites: Green Technology for Housing and Infrastructure Construction*, edited by A. Djausal, F. Alami, and A. E. Naaman, 229-243. Bandar Lampung: The University of Lampung, 2009.

32. Arif, M., Akhtar, S.M. Amjad, M. Garg, and F. Basit. „Flexural Behaviour of Fly Ash Mortar Ferrocement Panels for Low Cost Housing“. *Journal of Ferrocement* 31, no.2 (2001): 125-135.
33. Arif, M., Pamkaj, and S.K. Kuasik. „Mechanical Behavior of Ferrocement Composites: An Experimental Investigation“. *Cement and Concrete Composites* 21, no.4 (1999): 301-312.
34. Aristotle. *De Anima*. Translated by R. D. Hicks. Cambridge University Press, 1907.
35. Arnheim, Rudolf. *Visual Thinking*. Los Angeles: University of California Press, 1969.
36. Arnheim, Rudolf. *Toward a Psychology of Art: Collected Essays*. University of California Press, 1972.
37. Arnold, Christopher. „Building configuration: The Architecture of Seismic Design“. *Bulletin of the New Zealand National Society for Earthquake Engineering* 17, no.2 (1984): 83-89.
38. Arsić, Petar. „Teorija prostora i totalitet“. *SciTech* 5, 2004.
39. Ashby, Michael. *Materials and the Environment: Eco-Informed Material Choice*. Elsevier, 2012.
40. *Assessment of user requirements and technical feasibility of lightweight applications based on renewables* (Project report).  
<http://www.fabrikderzukunft.at/results.html/id5213>
41. Atienza, J. M., and M. Elices. „Fire-induced damage in prestressing steels after fire“. In *Proceedings of the Tenth International Conference on Structural Safety and Reliability: Safety, Reliability and Risk of Structures, Infrastructures and Engineering Systems*, edited by H. Furuta, D. M. Frangopol, and M. Shinozuka. CRC Press, 2009.
42. Austriaco, L.R., and R.P. Pama. „Durability of Ferrocement“. In *Proceeding of Third International Symposium on Ferrocement*, edited by S.K. Kaushik, and V.K. Gupta, 25-29. Neu Delhi: TMH, 1988.
43. „Award-winning Project: Treelodge@Punggol“. *The Singapore Engineer*, february 2012, (2012): 16-20.
44. Bachman, Leonard. *Integrated Buildings: The Systems Basis of Architecture*. Hoboken: John Wiley and Sons, 2002.

45. Baeza, R.M. „Estructura laminar compuesta“. In *Ferro10 - 10<sup>th</sup> International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites*, edited by H.W. Rivas, L.P. Seoane, and I.G. Castro, 495-500. Havana: UNIAICC, 2012.
46. Bahá'u'lláh. *Tablets of Bahá'u'lláh - revealed after the Kitab-i-Aqdas*. Bahá'í Publishing Trust, 1988. Quoted in Kitzing, Eberhard. „Origin of Complex Order in Biology: Abdu'l-Baha's concept of the originality of species compared to concepts in modern biology“. In *Evolution and Bahá'í Belief: 'Abdu'l-Bahá's Response to Nineteenth-Century Darwinism, Studies in the Bábi and Bahá'í Religions, V.12*, edited by K. Brown, 137-252. Los Angeles: Kalimat Press, 2001, 173.
47. Bajford, Jovan. *Staro sajmište - Mesto sećanja, zaborava i sporenja*. Beograd: Beogradski centar za ljudska prava, 2011.
48. Balaguru, P.N., A.E. Naaman, and S.P. Shah. „Analysis and Behaviour of Ferrocement in Flexure“. *Journal of the Structural Division* 103, (1977): 1937-1951.
49. Balmond, C., and J. Smith. *Informal*. London: Prestel, 2007.
50. Bansal, N.K., S.N. Garg, and S.Kothari. „Effect of Exterior Surface Color on the Thermal Performance of Buildings“. *Building and Environment* 27, (1992): 31-37.
51. Basunbul, I.A., S.M. Nuh, and R.B. Williamson. „Fire Resistance of Ferrocement Load Bearing Sandwich Panels“. *Journal of Ferrocement* 19, no.2 (1989): 109-123.
52. Bayzoni, and A. Djausal. „Structural Design of Ferrocement for Lampung Siger Moniument in Indonesia“. In *Ferro-9 - Proceeding of the 9<sup>th</sup> International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites: Green Technology for Housing and Infrastructure Construction*, edited by A. Djausal, F. Alami, and A. E. Naaman, 177-182. Bandar Lampung: The University of Lampung, 2009.
53. Beadle, K., A. Gibb, S. Austin, A. Fuster, and P. Madden. „Adaptable futures: sustainable aspects of adaptable buildings“. In *Proceedings 24th Annual ARCOM Conference*, edited by A.Dainty, 1125–1134. Association of Researchers in Construction Management, 2008.
54. Bechthold, Martin. „Surface Structures: Digital Design and Fabrication“. *ACADIA: Structures*, (2004): 88-99.

55. Bechthold, Martin. „Surface structures in the digital age: Studies in ferrocement“. In *Material Matters: Architecture and Material Practice*, edited by Katie Lloyd Thomas. Routledge, 2007.
56. Bell, P., T. Greene, J. Fisher, and A. Baum. *Environmental Psychology*. Psychology Press, 2005.
57. Bell, S., and S. Morse. *Sustainability Indicators: Measuring the Immeasurable?*. London: Earthscan, 2008.
58. Benz, I., and R. Rambow. „Architects’ and Non-Architects’ Perception of Exposed Concrete as a Building Material“. Poster presented at the XXIX International Congress of Psychology, ICC, Berlin, 2008.
59. Berge, Bjorn. *The Ecology of Building Materials*. Oxford: Elsevier, 2000.
60. Berleant, Arnold. „Environment and the Body“. In *Place and Embodiment*, edited by P.T. Karjalainen, and P.von Bonsdorff, 69–78. Helsinki: University of Helsinki, 1997.
61. Berleant, Arnold. *Living in the Landscape: Toward an Aesthetics of Environment*. Lawrence: University Press of Kansas, 1997.
62. Berlyne, D. E. „Complexity and incongruity variables as determinants of exploratory choice and evaluative ratings“. *Canadian Journal of Psychology* 17, (1963): 274-290.
63. Berlyne, D. E. „Novelty, complexity, and hedonic value“. *Perception and Psychophysics* 8, (1970): 279-286.
64. Berlyne, D.E., J.C. Ogilvie, and L.C. Parham. „The dimensionality of visual complexity, interestingness, and pleasingness“. *Canadian Journal of Psychology* 22, (1968): 376-387.
65. Bertalanffy, Ludwig. *General System theory: Foundations, Development, Application*. New York: George Braziller, 1976.
66. *Beton i armirani beton 87 - 1 Priručnik*, urednici M. Ivković i A. Pakvor. Beograd: Gradevinska Knjiga, 1991.
67. Bin, Z. „Fire resistance assessment of steel structures“ (paper presented at the Workshop on ‘Structural Fire Design of Buildings according to the Eurocodes’, Brussels, 27-28 November, 2012).
68. Bingham, G.P., and M.M. Muchisky. „Center of mass perception and inertial frames of reference“. *Perception and Psychophysics* 54, no.5 (1993): 617-632.



69. Birkeland, Janis. *Design for Sustainability: A Sourcebook of Integrated Eco-logical Solutions*. London: Earthscan, 2002.
70. Blagojević, Lj., i D. Ćirović. „Klimatske promene i estetika savremene arhitekture“. U *Uticaj klimatskih promena na planiranje i projektovanje*, urednici V. Đokić i Z. Lazović, 19-33. Beograd: Univerzitet u Beogradu, Arhitektonski fakultet, 2011.
71. Bogdanović-Protić, Ivana. „Stambeni kompleksi sa višespratnim zgradama - problemski okvir“. *Nauka + Praksa* 12, no.1 (2009): 5-8.
72. Bolander, J., and M. Perez-lara. „Service life simulation of thin reinforced cement-based composites“. In *Ferro-9 - Proceeding of the 9<sup>th</sup> International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites: Green Technology for Housing and Infrastructure Construction*, edited by A. Djausal, F. Alami, and A. E. Naaman, 155-162. Bandar Lampung: The University of Lampung, 2009.
73. Bordass, B. „Design intent to Reality: Post-Occupancy Evaluation, comfort and human factors“ (paper presented at the Joint Workshop SEAI and SFI-SRC ITOBO, University College Cork, 2011).
74. Bourdieu, Pierre. *Distinction: A Social Critique of the Judgement of Taste*. Translated by Richard Nice. Routledge, 1984.
75. Božović-Stamenović, Ružica. *O prostorima lečenja – centri dnevne nege*. Beograd: Zadužbina Andrejević, 1997.
76. Bremseth, S.K. *Fly ash in concrete - A literature study of the advantages and disadvantages* (COIN Project report 18). SINTEF Building and Infrastructure, 2009.
77. Brzaković, Predrag. „Leteći pepeli iz Jugoslovenskih termoelektrana - industrijski otpadak ili dragocena sirovina za proizvodnju građevinskih materijala“. *Izgradnja* 55, no.1-2 (2001): 5-22.
78. Burger, N., and D.P. Billington. „Felix Candela, Elegance and Endurance: An Examination of the Xochimilco Shell“. *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, 47, no.3 (2006): 271-278.
79. Burland, J.B. „Interaction Between Structural and Geotechnical Engineer“. *The structural Engineer*, 84, no.8, 2011.
80. Busby Perkins+Will and Stantec Consulting. *Roadmap for the Integrated Design Process, Part one: Summary Guide*. BC Green Building Roundtable, 2007.

81. „Zaha brings fluid geometry to Rome Rome“. *C3 304: Sustainable and Architectonic*, 2009. 25.
82. CABE, BCO. *The impact of office design on business performance*. Commission for Architecture and the Built Environment and the British Council for Offices, 2005.
83. Canby, Charles Darwin. *Ferro-cement With Particular Reference to Marine Application*. Society of Naval Architects and Marine Engineers, 1969.
84. Candela, Felix. „Toward a New Philosophy of Structures“. *Student Publications of the College of Design, North Carolina State College*, 5, no.3 (1954): 2-12.
85. Candela, Felix. Personal letter to Anton Tedesko, December 5th, 1963, Princeton University Tedesko Archive. Quoted in Burger, N., and D.P. Billington. „Felix Candela, Elegance and Endurance: An Examination of the Xochimilco Shell“. *Journal of the International Association for Shell and Spatial Structures*, 47, no.3 (2006): 271-278, 278.
86. Canter, David. „The purposive evaluation of places - A facet approach“. *Environment and Behaviour* 15, (1983): 659-698.
87. Chandrasekhar, T., T.D. Gunneswara, and N.V. Ramana. „An Appraisal of the Shear Resistance of Ferrocement Elements“. *Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)* 7, no.6 (2006): 591-602.
88. Chapman, J.C. „Learning from failures“. In *Learning from Construction Failures: Applied Forensic Engineering*, edited by P. Campbell, 71-101. Caithness: Whittles Publishing, 2001.
89. Chini, S.A., and W.J. Mbwambo. „Environmentally Friendly Solutions for the Disposal of Concrete Wash Water from Ready Mixed Concrete Operations“ (paper presented at the CIB W89 Beijing International Conference: Construction Modernisation and Education, October, 1996).
90. Chiorino, M.A. „Art and Science of Building in Concrete: The Work of Pier Luigi Nervi“. *Concrete International*, (2012): 32-40.
91. Cholewiak, S.A., R.W. Fleming, and M. Singh. „Perception of the physical stability of asymmetrical three-dimensional objects“. *Journal of Vision* 13, no.4 (2012): 1-12.
92. Cholewiak, S.A., R.W. Fleming, and M. Singh. „On the edge: Perceived stability and center of mass of 3D objects“. In *Perception 40 ECVP Abstract Supplement*, 101, 2011.

93. Cole, R.J., and P.C. Kernan. „Life-Cycle Energy Use in Office Buildings“. *Building and Environment* 31, no.4 (1996): 307-317.
94. Commission of the European Communities. *COM(2005) 670 - Thematic Strategy on the sustainable use of natural resources*. Brussels, 2005.
95. Committee on Facility Design to Minimize Premature Obsolescence. *The Fourth Dimension in Building: Strategies for Minimizing Obsolescence*, edited by D.G. Iselin, A.C. Lemer. Washington, D.C.: National Academy Press, 1993.
96. Construction Task Force. *Rethinking Construction*, The Report of the Construction Industry Task Force. London, 1998.
97. Cook, C.W., and P.L. Hunsaker. *Management and Organizational Behavior*. New York : McGraw Hill, 2001.
98. Cooper, D.R., and J.M. Allwood. „Reusing Aluminium and Steel Components at End of Product Life“. *Environmental Science and Technology* 46, no.18 (2012): 10334-10340.
99. Corus Construction and Industrial. *The prevention of corrosion on structural steelwork*. Scunthorpe: Corus, 2004.
100. Ćirović, G., S. Jovović, i O. Luković. „Proizvodna i tržišna vrednost građevinskog objekta“. *Građevinski kalendar* 42, (2010): 261-286.
101. Danish Technological Institute, Icelandic Building Research Institute, NCC, Franzefoss, and ERGO Engineering Geology Ltd. *Baseline Report for the Aggregate and Concrete Industries in Europe*, ECO-SERVE Network, Cluster 3: Aggregate and Concrete Production, 2004.
102. DeKay, Mark. *Integral Sustainable Design: Transformative Perspectives*. London: Earthscan, 2011.
103. Deleuze, G., and F. Guattari. *A Thousand Plateaus: Capitalism and Schizophrenia*. University of Minnesota Press, 1987.
104. Demonceau, J., L. Comeliau, and J. Jaspard. „Robustness of building structures - recent developments and adopted strategy“. *Steel Construction* 4, no.3 (2011): 166–170.
105. Desai, J.A. „Precast ferrocement structurals in lieu of rolled steel structurals“. In *Ferro-9 - Proceeding of the 9<sup>th</sup> International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites: Green Technology for Housing and Infrastructure*

- Construction*, edited by A. Djausal, F. Alami, and A. E. Naaman, 455-462. Bandar Lampung: The University of Lampung, 2009.
106. Design Council. *Design Council, Annual Review 2002*. London: Design Council, 2002.
  107. Devlin, A., and J. Nasar. „The beauty and the beast compared: Some preliminary comparisons of “high” versus “popular” residential architecture and public versus architect judgments of the same“. *Journal of Environmental Psychology* 9, (1989): 333-344.
  108. Dewey, John. *Art as Experience (1934)*. New York: Perigee Books, 1980.
  109. DGNB. Quoted in Kunibert Lennerts. *Sustainability and FM: Trends and Development*. Institute for Technology and Management in Construction, 2011.
  110. Dickson, M., and S.J. Gregson. „The Laboratory for Schlumberger Cambridge Research Ltd: first floor and roof grillage design and construction“. In *Space Structures 4*, Vol. 2, edited by G.A.R. Parke, and C. M. Howard, 1443-1451. London: Thomas Telford Services, 1993.
  111. Dieste, Eladio. *Architecture and construction* (essay). Quoted in Anderson Stanford. *Eladio Dieste: Innovation in Structural Art*. Princeton Architectural Press, 2004, 39.
  112. Dinsbacher, A.L., and F. E. Brauer. „Material Development, Design, Construction and Evaluation of a Ferrocement Planing Boat“. *Marine Technology*, (1974): 277-296.
  113. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings. *Official Journal of the European Union* L 153 (2010): 13-35.
  114. Djausal, A, and Bauzoni. „Two stages of construction of Menara Siger ferrocement structure“. In *Ferro-9 - Proceeding of the 9<sup>th</sup> International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites: Green Technology for Housing and Infrastructure Construction*, edited by A. Djausal, F. Alami, and A. E. Naaman, 463-470. Bandar Lampung: The University of Lampung, 2009.
  115. Djausal, A. „Experimental studies on behaviour of thin hyper structures under hydrostatic load“. In *Ferro-7 - Proceedings of Seventh International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites*, edited by M.A. Mansur, and K.C.G. Ong, 405-411. Singapore: National University of Singapore, 2001.

116. Dongyen, A, S. Sayanamipuk, S. Piyarakshul, and P. Nimityongskul. „Strengthening of reinforced concrete beam and slab system using ferrocement jacketing“. In *Ferro - 8 - Proceedings of Eighth International Symposium and Workshop on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites*, edited by P. Nimityongskul, A. E. Naaman, J. E. Bolander, C. Jaturapitakkul, C. Sujivorakul, and S. Sayamipuk, 461-472. Pathumthani: International Ferrocement Information Center, 2006.
117. Dražić, D., M. Veselinović, N. Čule, and S. Mitrović. „Rehabilitation of Landscapes Degraded by Stone, Clay and Sand Exploitation – Case Studies from Serbia“ (paper presented at the SARM Conference, Ljubljana, 2011).
118. *Durability of Masonry Mortar* (Technical note). Cement Concrete and Aggregates Australia, 2007.
119. El Deb, M.K., and A.E. Naaman. „Bending behavior of mortar reinforced with steel meshes and polymeric fibers“. *Cement and Concrete Composites*, 17, no.4 (1995): 327–338.
120. Ellingwood, B.R. „Load and Resistance Factor Criteria for Progressive Collapse Design“ (paper presented at the National Workshop on Prevention of Progressive Collapse, Rosemont, Illinois, July 10-12, 2002).
121. Task Group 3.4. *Environmental Effects of Concrete* (Report). fib Bulletin 23, March 2003.
122. *Europe's buildings under the microscope: A country-by-country review of the energy performance of buildings*, edited by B. Atanasiu, C. Despret, M. Economidou, J. Maio, I. Nolte, and O. Rapf. Buildings Performance Institute Europe, 2011.
123. European Committee for Standardization (CEN). *EN 15978:2011 - Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method*. Brussels: CEN, 2011.
124. Eysenck, H.J. „The experimental study of the ‘Good Gestalt’ - A new approach“. *Psychological Review* 49, (1942): 344-363.
125. Fabiana, L.D.O., and J.B. De Hanai. „Experimental Analysis of Concrete Block Masonry Walls with Rectangular Openings Strengthened by Ferrocement Overlays“. *Journal of Ferrocement* 32, no.3 (2002): 179-191.

126. Farshchi, M. A., and N. Fisher. „Emotions and the environment: the forgotten dimension“. In *Creating The Productive WorkPlace*, edited by D. Clements-Croome, 55-74. New York : Taylor and Francis, 2006.
127. Ferguson, Eugene. *Engineering and the Mind's Eye*. MIT Press, 1992.
128. Fernandez, A. „A monolithic earthquake-resistant ferrocement building of conventional architecture“. *Journal of ferrocement* 30, no.3 (2000): 275-279.
129. Fernandez, A., and F. Cano. „Seismic characteristics of low-cost ferrocement monolithic housing“. *Journal of ferrocement* 31 (2001): 137 – 142.
130. *Ferrocemento: Una alternativa para la vivienda*. Gerencia de asesoria tecnica. Cementos Bio Bio, 2002.
131. Fleming, R.W., and M. Singh. „Three dimensional shape and the perception of physical stability“. *Journal of Vision* 9 (2010): 47–47.
132. Folić, Radomir. „Durability design of concrete structures - part 1: Analysis fundamentals“. *Facta Universitatis, Series: Architecture and Civil Engineering* 7, (2009): 1-18.
133. Fyson, J. „FAO Investigates Ferro-Cement Fishing Craft: Laboratory Analysis, Construction Methods, Service Experience“. *Fishing News*, 1973.
134. Gajda, J. *Energy Use of Single-Family Houses With Various Exterior Walls*. Portland Cement Association and Concrete Foundation Association, 2001.
135. Geromiller, H.P., and A. Farschtschi. „Numerical Calculation of Electric Fields in Housing Spaces Due to Electromagnetic Radiation from Antennas for Mobile Communication“. *Acta Polytechnica - Journal of Advanced Engineering* 43, no.5 (2003): 44-46.
136. Giddens, Anthony. *Sociology*. Oxford: Blackwells, 2001.
137. Gifford, R., D. Hine, W. Muller-Clemm, and D.JR. Reynolds. „Decoding modern architecture: A lens model approach for understanding the aesthetic differences of architects and laypersons“. *Environment and Behavior* 32, no.2 (2000): 163-187.
138. Gifford, R., D. Hine, W.Muller-Clemm, and K. Shaw. „Why architects and laypersons judge buildings differently: cognitive properties and physical bases“. *Journal of Architectural and Planning Research* 19, no.2 (2002): 131-148.
139. Giuliani, M.V., and R. Feldman. „Place attachment in a developmental and cultural context“. *Journal of Environmental Psychology* 13 (1993): 267-274.

140. Glusac, T. „How much these walls have seen: the role of architecture, place and memory in re-constructing the sense of self in a new built environment“ (paper presented at the International Conference on Migration, Citizenship and Intercultural Relations, November 2009, Deakin University Australia, 2009).
141. *Going Green: A Handbook of Sustainable Housing Practices*. Nairobi: UN-HABITAT, 2012.
142. Goldman, A.H. „Aesthetic Qualities and Aesthetic Value“. *Journal of Philosophy* 87, no.1 (1990): 23-37.
143. Gopi, Satheesh. *Basic Civil Engineering*. New Delhi: Dorling Kindersley, 2010.
144. Gorgolewski, M., V. Straka, J. Edmonds, and C. Sergio. *Facilitating Greater Reuse and Recycling of Structural Steel in the Construction and Demolition Process* (Project final report). Ryerson University, 2006.
145. Greco, C. „The “Ferro-cemento” of Pier Luigi Nervi - The New Material and the First Experimental Building“. In *Proceedings of the IASS International symposium - Spatial Structures: Heritage, Present and Future*, edited by G.C. Giuliani, 309-316. SGEEditoriali, 1995.
146. Greepala, V., and P. Nimityongskul. „Structural integrity and insulation property of ferrocement exposed to fire“. *Journal of Ferrocement* 36, (2006): 939-952.
147. Gupta, V.K., V.K. Tiwari, P.C. Sharma, S.K. Kaushik, and D.N. Thrina. „Corrosion performance of ferrocement structures“. In *Fibre Reinforced Cement and Concrete: Proceedings of the Fourth RILEM International Symposium*, edited by R.N. Swamy. E and FN Spon, 1992.
148. Hadid, Z. „Zaha Hadid Challenges materials“. *CRESCENDO special edition: Concrete innovation for new architectural challenges*, October 2008, 14-15. [http://www.lafarge.com/10012008-publication\\_group-Crescendo\\_HS\\_2008-uk.pdf](http://www.lafarge.com/10012008-publication_group-Crescendo_HS_2008-uk.pdf)
149. Hagerhall, C.M. „Consensus in landscape preference judgements“. *Journal of Environmental Psychology* 21, (2001): 83–92.
150. Hammer, Carli. „Optimization of dome housing in Sri Lanka“. Master Thesis, Delft University of Technology, 2006.
151. Hammond, G. P., and C. I. Jones. *Inventory of Carbon and Energy (ICE)*, Beta Version V1.5, SERT, Department of Mechanical Engineering, University of Bath, 2006.

152. Hammond, G.P., and C.I. Jones. „Embodied energy and carbon in construction materials“. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers, Energy Journal* 161, no.2 (2008): 87-98.
153. Hammond, G. P., and C. I. Jones. *Embodied Carbon: The Inventory of Carbon and Energy (ICE)*. BRISIA, 2011.
154. Hanafiah, F., M. Ramli, and N. Abllah. „Durability of ferrocement structures in aggressive environment by laboratory tests“ (paper presented at the 4th Annual Seminar of National Science Fellowship, 2004).
155. Hanna, Awad. *Concrete Formwork Systems*. New York: Marcel Dekker, Inc., 2004.
156. Harrison, C. *The Environmental Building, The Building Research Establishment (BRE) Office Building (Case Study)*, 2006.  
<http://www.webpages.uidaho.edu/arch504ukgreenarch/casestudies/bre2.pdf>
157. Haskell, B.D., B.G. Norton, and R. Costanza. „Introduction: What is ecosystem health, and why should we worry about it?“. In *Ecosystem health: New Goals for Environmental Management*, edited by R.Costanza, B. G. Norton, and B. D. Haskell, 3-20. Washington, DC: Island Press, 1992.
158. Hawalder, M.N.A, M.A. Mansur, and M. Rahman. „Thermal Behaviour of Ferrocement“. *Journal of Ferrocement* 20, no.3 (1990): 231-239.
159. Heidegger, Martin. *Poetry, Language, Thought*. Translated by A. Hofstadter. New York: Harper and Row, 1971.
160. Hershberger, R.G. „Architecture and Meaning“. *Journal of Aesthetic Education* 4, (1970): 37-55.
161. Heschong, Lisa. *Thermal Delight in Architecture*. MIT Press, 1979.
162. Heyman, J. „Hambly’s paradox: why design calculations do not reflect real behaviour“. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers* 114, (1996): 161 – 166.
163. Hillier, B., and J. Hanson. *The social logic of space*. Cambridge University Press, 1989.
164. Hossainan, M.Z., and S. Inoue. „A Comparison of the Mechanical Properties of Ferrocement Elements under Compression for Square and Chicken Meshes“. *Journal of Ferrocement* 30, no.4 (2000): 319-343.



165. Hossain, M.Z., and S. Inoue. „Compression Behavior and Buckling Analysis of Ferrocement Elements Using the Finite Element Method“. *Journal of Ferrocement* 30, no.2 (2000): 147-166.
166. Howarth, P. A. „Assessment of the visual environment“. In *Evaluation of Human Work*, edited by R. J.R. Wilson, and N. Corlett, 663-692. CRC Press, 2005.
167. Hurd, M.K. *Welded wire sandwich panels shotcreted: Habitat for Humanity builds 14 homes in 14 days*. The Aberdeen Group, 1991.
168. Huxtable, Ada Louise. *Pier Luigi Nervi*. New York: George Braziller, 1960.
169. IEA Solar Heating and Cooling Task 23. *Examples of Integrated Design: Five Low Energy Buildings Created Through Integrated Design*, edited by G. van Cruchten. International Energy Agency, 2000.
170. IFS Committees 10. *Ferrocement Model Code: Building Code Recommendations for Ferrocement (IFS 10-01)*. Thailand: International Ferrocement Society, 2001.
171. Ignjatović I., i S. Marinković. „Projektovanje betonskih konstrukcija prema upotrebnom veku, deo 1 - osnovni pojmovi trajnosti i pouzdanosti“. *Građevinski materijali i konstrukcije* 50, br. 4 (2007): 3-15.
172. Ihsan, Q.M. „Analysis of Ferrocement Slabs Using Finite Element Method“. *Basrah Journal for Engineering Science* 12, no.2 (2012): 14-19.
173. International Energy Agency. *CO<sub>2</sub> emissions from fuel combustion highlights*. International Energy Agency, 2013.
174. Iorns, M.E. „Some Improved Methods for Building Ferrocement Boats“. *Journal of Ferrocement* 10, no.3 (1980): 189-203.
175. IUCN, UNEP, WWF. *Caring for the earth: a strategy for sustainable living*. IUCN, UNEP, WWF, 1991.
176. Jevtić, D., D. Zakić, i A. Savić. „Specifičnosti tehnologije spravljanja betona na bazi recikliranog agregata“. *Građevinski materijali i konstrukcije* 52, br.1 (2009): 52-62.
177. Jeyasehar, CA, and B. Vidivelli. „Behaviour of RC beams rehabilitated with ferrocement laminate“. In *Ferro - 8 - Proceedings of Eighth International Symposium and Workshop on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites*, edited by P. Nimityongskul, A. E. Naaman, J. E. Bolander, C. Jaturapitakkul, C. Sujivorakul, and S. Sayamipuk, 485-500. Pathumthani: International Ferrocement InformationCenter, 2006.

178. Jock, M., T. Henrichs, A. Pirc-Velkavrh, A. Volkery, D. Jarosinska, P. Csagoly, and Y. Hoogeveen. *The European environment – state and outlook 2010: Synthesis*. Copenhagen: EEA European Environment Agency, 2010.
179. John, V.M. and SE. Zordan. „Research and development methodology for recycling residues as building materials“. *Waste Management* 21, (2001): 213-219.
180. Johnston, C.D., and D.N. Mowat. „Ferrocement-Material Behaviour in Flexure“. *Journal of the Structural Division* 100, no.10 (1974): 2053-2069.
181. Joshi, R.C., and R.P. Lohtia. *Fly ash in concrete: production, properties and uses*. CRC Press, 1997.
182. Jovanović, N., M. Komljenović, Lj. Petrašinović-Stojkanović, Z. Baščarević, V. Bradić, i A. Rosić. „Supstitucija glinovite mineralne komponente lignitskim elektrofilterskim pepelom pri sintezi portland-cementnog klinkera“. *Hemijska industrija* 60, (2006): 253-258.
183. Kamaruzzaman, S.N. „Influence of Employees’ Perceptions of Colour Preferences on Productivity in Malaysian Office Buildings“. *Journal of Sustainable Development* 3, no.3 (2010): 283-293.
184. Kandaswamy, S., and A. Ramachandraiah. „Sound Transmission Performance on Ferrocement Panels“. *Journal of Ferrocement* 32, no.1 (2002): 59-67.
185. Kaplan, S. „Aesthetics, Affect, and Cognition: Environmental Preference from an Evolutionary Perspective“. *Environment and Behavior* 19, no.1 (1987): 3-32.
186. Kaplan, S., and R. Kaplan. *Cognition and environment: Functioning in an uncertain world*. New York: Praeger, 1982.
187. Karana, Elvin. „How do materials obtain their meanings?“. *METU Journal of the Faculty of Architecture* 27, no.2 (2010): 271-285.
188. Katz, A. „Microstructure study of alkali-activated fly ash“. *Cement and Concrete Research* 28, (1998): 197-208.
189. Kaushik, S.K., V.K. Gupta, and P.C. Shanna. „Corrosion Performance of Ferrocement“. In *Proceeding of Third International Symposium on Ferrocement*, edited by S.K. Kaushik, and V.K. Gupta, 142 – 152. New Delhi: TMH, 1988.
190. Kaushik, S.K., K.K. Singh, R. Kumar, and T. P. Sharma. „Performance of ferrocement encased concrete columns under fire exposure“. *Journal of Ferrocement*, (1996): 191-196.

191. Kaynakli, O., and A. Yigit. „Effects of radiant temperature on thermal comfort“. *Building and Environment*, 42, no.9 (2007): 3210–3220.
192. Kesegi, I., D. Bjegović, i I. Netinger. „Upotreba reciklirane opeke kao agregata za beton“. *Građevinar* 61, (2009): 15-22.
193. Khalaf, F.M., and A.S. DeVenny. „Proporeties of New and Recycled Clay Brick Aggregate for Use in Concrete“. *Journal of Material in Civil Engineering* 17, (2004): 456-464.
194. Kibert, C.J. Final Session of First International Conference of CIB TG 16 on Sustainable Construction, November 6 – 9, Tampa, Florida, 1994.
195. Kiesler, Frederick. “On Correalism and Biotechnique: A Definition and Test of a New Approach to Building Design”. *Architectural Record* 86, September 1939, 60–75.
196. Kikuchi, M., T. Mukai, and H. Koizumi. „Properties of concrete products containing recycled aggregate“. In *Proceedings of the Second International RILEM Symposium: Reuse of Demolition Waste*, 595–604. London: Chapman and Hall, 1988.
197. Kim, Hyunjin. *Progressive Collapse Behavior of Reinforced Concrete Structures with Deficient Details*. ProQuest, 2006.
198. Kind-Barkauskas, F., B. Kauhsen, S. Polonyi, and J. Brandt. *Concrete construction manual*. Basel-Boston-Berlin: Birkhäuser, 2002.
199. Kitzing, Eberhard. „Origin of Complex Order in Biology: Abdu'l-Baha's concept of the originality of species compared to concepts in modern biology“. In *Evolution and Bahá'í Belief: 'Abdu'l-Bahá's Response to Nineteenth-Century Darwinism, Studies in the Bábi and Bahá'í Religions*, V.12, edited by K. Brown, 137-252. Los Angeles: Kalimat Press, 2001, 173.
200. Kjærvang, Ulla. *Æstetik, ja tak, - en inspirationsbog om hverdagsæstetik i grundskolen*. Dansk Center for Undervisningsmiljø, 2003.
201. Kloft, H. „Non-Standard Structural Design for Non-Standard Architecture“. In *Performative Architecture Beyond Instrumentality*, edited by B. Kolarevic, and A.M. Malkawi, 135-148. New York: Spon Press, 2005.
202. Kodur, V.K.R. „Spalling in High Strength Concrete Exposed to Fire - Concerns, Causes, Critical Parameters and Cures“. In *ASCE Proceedings of Structures Congress*

- 2000: *Advanced Technology in Structural Engineering*, edited by Mohamed Elgaaly, section 48, chapter 1. ASCE, 2000.
203. Komisija za standarde iz oblasti Betonskih konstrukcija. *Tehnička preporuka za ferrocement: Ferrocement - Pravila za projektovanje, izvođenje i održavanje*. Beograd: Savezni zavod za standardizaciju, 2002.
204. Korytarova, J. „Economic Consequences Related to Durability and Reliability of Construction - Basic principles and Optimisation“. Centre for Integrated Design of Advanced Structures, Brno University of Technology, 2006.
205. Krstić, H., i S. Marenjak. „Analiza troškova održavanja i uporabe građevina“. *Građevinar* 64, (2012): 293-303.
206. Kumar, A.. „Ferrocement Box sections-viable option for Floors and Roof of Multi-storied Buildings“. *Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)* 6, no.6 (2005): 569-582.
207. Kumar, A., N.M. Bhandari, and S.K. Kaushik. „Study on feasibility and effectiveness of prestressing in ferrocement box girder elements“. *Journal of ferrocement* 33, no.4 (2003): 229-248.
208. Kumar, P. R., D.R. Seshu, and C.B.K. Rao. „Studies on high performance mortar mixes: strength and flow characteristics“. *Journal of ferrocement* 32, no.3 (2002): 205-214.
209. Abercrombie, Stanely. *Ferrocement: Building with cement, sand, and wire mesh*. New York: Schocken Books, 1977. Quoted in Kundoo, A. „The plasticity of ferrocement: Its potential for architectural application and influence on architectural form“. In *Ferro10 - 10<sup>th</sup> International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites*, edited by H.W. Rivas, L.P. Seoane, and I.G. Castro, 451-456. Havana: UNIAICC, 2012, 454.
210. Knudstrup, Mary-Ann. „Integrated Design Process in Problem-based Learning“. In *The Aalborg PBL model – Progress, Diversity and Challenges*, edited by A. Kolmos, F.K. Fink and L. Krogh, 221-234. Aalborg University Press, 2006.
211. Kyle, G., and G. Chick. „The social construction of a sense of place“. *Leisure Sciences* 29, no.3 (2007): 209-226.
212. Lang, Jon. *Creating Architectural Theory: The Role of the Behavioral Sciences in Environmental Design*. New York: Van Nostrand Reinhold, 1987.

213. Lara, M.P., and J. Bolander. „Effects of reinforcement positioning on the flexural behaviour of Ferrocement“. *Journal of Ferrocement* 34, no.4 (2004): 423-432.
214. Larsson, N.K. „Sustainable Dvelopment and Open Building“. Presentation to CIB TG26, Brighton, UK, 1999.
215. Lau, J.M., L. Tay, C.K. Kok, and S.H. Lee. „Development of ferrocement products for publichousing construction“. In *Ferro-7 - Proceedings of Seventh International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites*, edited by M.A. Mansur, and K.C.G. Ong, 271-286. Singapore: National University of Singapore, 2001.
216. Lee, S.L., M.A. Mansur, P. Paramasivam, K.C.G. Ong, and C.T. Tam. „A study of sandwich wall panel“. *Journal of ferrocement* 16, (1986): 295-313.
217. Lepage, Robert. „Moisture Response of Wall Assemblies of Cross-Laminated Timber Construction in Cold Canadian Climates“. Master Thesis, University of Waterloo, 2012.
218. Leslie, T. „Form as Diagram of Forces: The Equiangular Spiral in the Work of Pier Luigi Nervi“. *Journal of Architectural Education* 57, no.2 (2003): 45–54.
219. Leupen, B., C. Grafe, N. Kornig, M. Lampe, and P. Zeeuw. *Design and Analysis*. Rotterdam: OIO Publishers, 1997.
220. Lindt, J.W., S. Pei, S. Pryor, H. Shimizu, and H. Isoda. „Experimental Seismic Response of a Full-Scale Six-Story Light-Frame Wood Building“. *Journal of Structural Engineering* 136, no.10 (2010): 1262–1272.
221. Louis-Guy, C. „Fire resistance assessment of composite steel-concrete structures“ (paper presented at the Workshop on ‘Structural Fire Design of Buildings according to the Eurocodes’ - Brussels, 27-28, November, 2012).
222. Lynch, Kevin. *The image of the city*. Cambridge: MIT Press, 1960.
223. Macdonald, A.J. *Structure and Architecture*. Routledge, 2012.
224. Macdonald, A.W. „Inventor's Story“. Accessed January 25, 2012. <http://www.amcor.com/system/inventors-story/>
225. Macdonald, A.W. „Ferro-Cement Coatings on Panelized Lightweight Steel Frame Structures“. In *Ferro-7 - Proceedings of Seventh International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites*, edited by M.A. Mansur, and K.C.G. Ong, 415-420. Singapore: National University of Singapore, 2001.

226. Machlis, G.E., J.E. Force, and W.R. Burch. „The human ecosystem part I: The human ecosystem as an organizing concept in ecosystem management“. *Society and Natural Resources* 10, (1997): 347-367.
227. Majdin, Zoran. „Još nam samo zakon falı“. *Vreme*, br. 1073, 28. jul, 2011.
228. Mako, Vladimir. *Estetika – Arhitektura, knjiga 1*. Beograd: ORION|ART, 2009.
229. Mako, Vladimir. *Estetičke misli o arhitekturi: srednji vek*. Beograd: Arhitektonski Fakultet Univerziteta u Beogradu, 2012.
230. Maksimović, Milan. *Arhitektura i*. Beograd: Arhitektonski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2008.
231. Malešev, M., V. Radonjanin, and S. Marinković. „Recycled Concrete as Aggregate for Structural Concrete Production“. *Sustainability* 2, (2010): 1204-1225.
232. Malhotra, V.M., and P.K. Mehta. *High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete*. WOC, 2010.
233. Malkin, Jain. *Hospital Interior Architecture: Creating Healing Environments for Special Patient Populations*. New York: John Wiley and Sons, 1992.
234. Maltais, Y.M., and J. Marchand. „Influence of curing temperature on cement hydration and mechanical strength development of fly ash mortas“. *Cement and Concrete Research* 27, (1998): 1009-1020.
235. Mansur, M. A., and K.C.G. Ong. „Shear Strength of Ferrocement Beams“. *ACI Structural Journal*, (1987): 10-17.
236. Mansur, M. A., M. Maalej, and M. Ismail. „Study on Corrosion Durability of Ferrocement“. *Materials Journal* 105, no.1 (2008): 28-34.
237. Mansur, M.A., and Abdullah. „Constitutive Laws of Ferrocement under Biaxial Tension-Compression“. *Journal of Ferrocement* 28, no.1 (1998): 1-25.
238. Mansur, M.A., and T. Kiritharan, „Shear Strength of Ferrocement Structural Sections“. *Journal of Ferrocement* 31, no.3 (2001): 195-211.
239. Mansur, M.A., and K.G.C. Ong. „Shear Strength of Ferrocement I-Beams“. *ACI Structural Journal* 88, no.3 (1991): 458-464.
240. Mansur, M.A., P. Paramasivam, and S.L. Lee. „Ferrocement Sunscreens on High Rise Buildings“. *Concrete International* 9, no.9 (1987): 19-23.
241. Mansur, M.A., P. Paramasivam, T.H. Wee, and H.B. Lim. „Durability of Ferrocement - a Case Study“. *Journal of Ferrocement* 26, (1996): 11-19.

242. Marciano, R. „Rémy Marciano builds tomorrow’s memories“. *CRESCENDO special edition: Concrete innovation for new architectural challenges*, (2008): 32-33.
243. Marić, I., i B. Kovačević. „Principi bioklimatske arhitekture primenjeni u projektu Spa centra na Staroj planini“. *Arhitektura i urbanizam* 33, (2011): 87-101.
244. Marinković, S., I. Ignjatovic, V. Radonjanin, and M. Malešev. „Recycled aggregate concrete for structural use – An overview of technologies, properties and applications“. In *Innovative Materials and Techniques in Concrete Construction*, edited by M.N. Fardis, 115-130. Springer, 2012.
245. Marr, D. „A Theory for Cerebral Neocortex“. In *Proceedings of the Royal Society of London. Series B, Biological Sciences*, vol. 176, no. 1043 (1970): 161-234.
246. Massivtra Handboken. *Industiekonsortiet Massivtra*, 2006. Quoted in Boellaard, B., and A. Lootens. „An Application of the Massive Timber Structure in a Multi-Storey Housing Design – An integrated architectural and engineering approach for the Dutch building market“. Master Thesis, Lulea University of Technology, 2007, 30.
247. Max-Neef, Manfred. *Human Scale Development - Conception, Application and Further Reflections*. New York and London: The Apex Press, 1991.
248. Max-Neef, Manfred. „The barefoot economist“. Interview by Amy Goodman. *Making It: Governing a globalized world*, 2011. 8-9.
249. McDougall, G., J.R. Kelly, J. Hinks, and U.S. Bititci. „A review of the leading performance measurement tools for assessing buildings“. *Journal of Facilities Management* 1, no.2 (2002): 42 – 153.
250. McMullen, Wanda. „User Preferences in an Interior Multiuse Space as Related to Community Enhancement in a College of Law“. Master Thesis, University of Florida. 2001.
251. Mehrabian, A., and J.A. Russell. *An approach to environmental psychology*. Cambridge: The Mit Press, 1974.
252. Mehta, P.K. „Durability: Critical Issues for the Future.“ *Concrete International* 19, no.7 (1997): 69-76.
253. Mehta, K., and H. Meryman. „Tools for Reducing Carbon Emissions Due to Cement Consumption“. *STRUCTURE magazine*, January 2009, 11-15.
254. Menger, Carl. *Principles of Economics* (1871). Auburn: Ludwig von Mises Institute, 2007.

255. Mezzi, M. „Configuration and Morphology for the Application of New Seismic Protection Systems“. In *First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology*. European Association of Earthquake Engineering, 2006.
256. Mijić, Miomir. *Akustika u arhitekturi*. Beograd: Nauka, 2001.
257. Milinković, Milenko. „Applications of ferrocement on terrestrial structures in Yugoslavia“. In *Ferro-7 - Proceedings of Seventh International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites*, edited by M.A. Mansur, and K.C.G. Ong, 381-388. Singapore: National University of Singapore, 2001.
258. Milinković, M. „Solar house – green technology – energy efficiency“. In *Ferro9 - Proceeding of the 9<sup>th</sup> International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites: Green Technology for Housing and Infrastructure Construction*, edited by A. Djausal, F. Alami, and A. E. Naaman, 49-57. Bandar Lampung: The University of Lampung, 2009.
259. Milinković, Milenko. „Exprience with prefabricated ferrocement panels for the construction of ferrocement halls“. In *Ferro-9 - Proceeding of the 9<sup>th</sup> International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites: Green Technology for Housing and Infrastructure Construction*, edited by A. Djausal, F. Alami, and A. E. Naaman, 11-19. Bandar Lampung: The University of Lampung, 2009.
260. Milinković, Mi., and Ml. Milinković. „Sustainable ferrocement sports hall“. In *Ferro10 - 10<sup>th</sup> International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites*, edited by H.W. Rivas, L.P. Seoane, and I.G. Castro, 471-480. Havana: UNIAICC. 2012.
261. Miljković, Dejan. Citiran u Borislav Vukićević, „O nagrađenom projektu rekonstrukcije beogradske Kule Nebojša“, *Vijesti*, 4. april, 2012. Accessed January 20, 2013. <http://www.vijesti.me/kultura/o-nagradenom-projektu-rekonstrukcije-beogradske-kule-nebojsa-clanak-69263>
262. Министарство енергетике, развоја и заштите животне средине. *Поједностављени национални акциони план за обновљиве изворе енергије републике србије*. Београд, 2012.
263. Mladenović, S., M. Pavlović, i D. Stanojević. *Korozija i zaštita betona i armiranog betona*. Beograd: SISZAM, 2008.



264. Moe, Kiel. *Integrated Design in Contemporary Architecture*. New York: Princeton Architectural Press, 2008.
265. Montes, J.L.C., R.A. Ramirez, and T.C. Aquino. „La experiencia del CIIDIR IPN en proyectos de viviendas y edificios publicos de ferrocemento en Oaxaca, Mexico“. In *Ferro10 - 10<sup>th</sup> International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites*, edited by H.W. Rivas, L.P. Seoane, and I.G. Castro, 419-426. Havana: UNIAICC, 2012.
266. Montesinos, G.P., and A.E. Naaman. „Parametric Evaluation of the Bending Response of Ferrocement and Hybrid Composites with FRP Reinforcements“. *Journal of Ferrocement* 34, no.2 (2004): 341-352.
267. Moraga, S. „Elementos de ferrocemento para vivienda social“. In *Ferro10 - 10<sup>th</sup> International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites*, edited by H.W. Rivas, L.P. Seoane, and I.G. Castro, 387-391. Havana: UNIAICC, 2012.
268. Morgan, C. *Design and Detailing for Airtightness - SEDA Design Guides for Scotland*: No. 2. SEDA, 2006.
269. Naaman, A.E. „Design Prediction of Crack Width in Ferrocement“. *ACI Commite, Special Publication*, (1979): 25-42.
270. Naaman, Antoine. *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites*. Ann Arbor: Techno Press 3000, 2000.
271. Naaman, A.E., and S.P. Shah. „Tensile Tests of Ferrocement“. *ACI Journal* 68, no.9 (1971): 693- 698.
272. Naik, T. R., and B.W. Ramme. „High Strength Concrete containing large quantity of fly ash“. *ACI Material Journal* 86, no.2 (1989): 111-116.
273. Nakajima, S., and Futaki, M. „National R&D project to promote recycle and reuse of timber constructions in Japan – the second year’s results“ (paper presented at the *CIB Task Group 39 - Deconstruction Meeting*, Karlsruhe, 2002).
274. Nanni, A., and R.F. Zollo. *Behavior of Ferrocement Reinforcement in Tension*, Report No. 86-101, Department of Civil Engineering, University of Miami, 1986.
275. Nassif, H.H., and H. Najm, „Experimental and analytical investigation of ferrocement–concrete composite beams“. *Cement and Concrete Composites* 26, no.7 (2004): 787–796.

276. Nathan, G.K., and P. Paramasivam. „Mechanical Properties of Ferrocement Material“. In *Proceedings of First Australian Conference on Engineering Materials*, edited by D.R. Morgan, and G.B. Welch. Kensington: University of New South Wales, 1974.
277. Nedwell, P. J. „National progress report: UK“. *Journal of ferrocement* 32, no.4 (2002): 333-339.
278. Nedwell, P.J. „Ferrocement Research at UMIST“. *Journal of Ferrocement* 30, (2000): 379-388.
279. Nedwell, P.J., I.J. Adcock, and T.E.J. Hope. „Colliers moss millennium bridge - in situ testing“. In *Ferro-7 - Proceedings of Seventh International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites*, edited by M.A. Mansur, and K.C.G. Ong, 359-370. Singapore: National University of Singapore, 2001.
280. Nedwell, P.J., M. Ramesht, M.T. Ranjbar, A. Nakassa, and S. Gweli. „Durability of Ferrocement“. In *Ferro-9 - Proceeding of the 9<sup>th</sup> International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites: Green Technology for Housing and Infrastructure Construction*, edited by A. Djausal, F. Alami, and A. E. Naaman, 359-369. Bandar Lampung: The University of Lampung, 2009.
281. Nenadović, A. i M. Nenadović. „Održivi razvoj građenja“. U *Preispitivanje pojma „održivi razvoj“ u planiranju, projektovanju i građenju*, urednik Nađa Kurtović-Folić, 143-160. Beograd: Arhitektonski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2002.
282. Nenadović, A. i M. Nenadović. „Građevinski materijali i proizvodi u kontekstu održivog razvoja“. U *Principi održivog razvoja*, urednik Nađa Kurtović-Folić, 237-256. Beograd: Arhitektonski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2004.
283. Nervi, Pier Luigi. *Nuove possibilità per le costruzioni navali in cemento armato*. Roma: Novissima, 1943, n.d. Quoted in C. Greco. „The “Ferro-cemento” of Pier Luigi Nervi - The New Material and the First Experimental Building“. In *Proceedings of the IASS International symposium -Spatial Structures: Heritage, Present and Future*, edited by G.C. Giuliani, 309-316. SGEEditoriali, 1995, 311.
284. Nervi, Pier Luigi. *Arte o Scienza del costruire?*, 1945. Quoted in C. Greco. „The “Ferro-cemento” of Pier Luigi Nervi - The New Material and the First Experimental Building“. In *Proceedings of the IASS International symposium -Spatial Structures:*

- Heritage, Present and Future*, edited by G.C. Giuliani, 309-316. SGEEditoriali, 1995, 311.
285. Nervi, Pier Luigi. *Structures*. New York: F.W. Dodge Corporation, 1956. Quoted in Huxtable, Ada Louise. *Pier Luigi Nervi*. New York: George Braziller, 1960, 18.
286. Nervi, Pier Luigi. *Structures*. New York: F.W. Dodge Corporation, 1956. Quoted in Leupen, B., C. Grafe, N. Kornig, M. Lampe, and P. Zeeuw. *Design and Analysis*. Rotterdam: OIO Publishers, 1997, 118.
287. Nervi, Pier Luigi. *Aesthetics and Technology in Building*. Harvard University Press, 1965.
288. Nestorović, Miodrag. *Konstruktivni sistemi – Principi konstruisanja i oblikovanja*. Beograd: Arhitektonski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2000.
289. Nielsen, C.V. „Carbon Footprint of Concrete Buildings seen in the Life Cycle Perspective“ (paper presented at the 2008 NRMCA Concrete Technology Forum – Focus on Sustainable Development, Denver, CO., 2008).
290. НИИЖБ. *Пособие по проектированию армоцементных конструкций* (к СНиП 2.03.03-85). Москва: Стройиздат, 1989.
291. Norman, Don. *The Psychology of Everyday Things*. Basic Books, 1988.
292. Nyrud, A., and T. Bringslimark. „Health benefits from wood interiors in hospitals“ (paper presented at the Forest Products Society 65th International Convention, Norsk Treteknisk Institutt, 2011).
293. Nyrud, A., K. Bysheim, and T. Bringslimark. „Natural building materials: what are the users’ perception of naturalness?“. In *Proceedings of the 7<sup>th</sup> meeting of the Nordic-Baltic network in wood material science and engineering (WSE)*, 102-106. Norsk Treteknisk Institutt, 2011.
294. O'Neill, B.T., G. Shaw, and M. Flynn. *Project Profile: PowerGen Headquarters*. British Cement Association, 1996.
295. Onet, T., C. Magureanu, and V. Vescan. „Aspects Concerning the Behavior of Ferrocement in Flexure“. *Journal of Ferrocement* 22, no.1 (1992): 1-9.
296. Ortner, S. B. „Theory in anthropology since the Sixties“. In *Culture/Power/History: A Reader in Contemporary Social Theory*, edited by N.B. Dirks, G. Eley, and S.B. Ortner, 372-411. New Jersey: Princeton University Press, 1993.

297. Osorio, S.M., and H.W. Rivas. „Technology for Prefabrication and Assembling of Light Ferrocement Panels“. In *Ferrocement 6, Lambot Symposium: Proceedings of the Sixth International Symposium on Ferrocement*, edited by A.E. Naaman, 119-128. Ann Arbor: University of Michigan, 1998.
298. Padfield, T., and L.A. Jensen. „Humidity buffering of building interiors by absorbent materials“. In *Proceedings of the 9th Nordic Symposium on Building Physics - NSB 2011*, vol.1, 475 – 482. Finland: Tampere University of Technology, 2011.
299. Pallasmaa, Juhani. *The eyes of the skin: Architecture and the Senses*. Chichester: John Wiley and Sons, 2005.
300. Панарин, С.Н., и Т.А. Хежев. *Армоцементные конструкции повышенной огнестойкости. Наглядное пособие*. ЛДНТП, 1982.
301. Панарин, С.Н., Т.А. Хежев, и Б.З. Чистяков. *Технологические особенности изготовления армоцементных конструкций с огнезащитным слоем на основе вермикулита*. Тезисы докладов совещания: Применение вермикулита в народном хозяйстве, 41 -42, 1982.
302. Paramasivam, P., and K. Ong. „Structural strengtheninig using ferrocement laminates“. In *Ferro-9 - Proceeding of the 9<sup>th</sup> International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites: Green Technology for Housing and Infrastructure Construction*, edited by A. Djausal, F. Alami, and A. E. Naaman, 49-57. Bandar Lampung: The University of Lampung, 2009.
303. Paramasivam, P. „Ferrocement: A Cementitious Thin Wall Structural Elements - Research to Practice“. In *Thin-Walled Structures: Research and Development*, edited by N.E. Shanmugam, J.Y. Richard Liew, and V. Thevendran. Elsevier, 1998.
304. Paramasivam, P., and S.R. Ravindrarajah. „Effect of Arrangements of Reinforcements on Mechanical Properties of Ferrocement“. *ACI Structural Journal* 85, no.5 (1988): 3-11.
305. Paramasivam, P., K.C.G. Ong, and S.L. Lee. „Ferrocement Structures and Structural Elements“. In *Steel-Concrete Composites Structures*, edited by R. Narayanan, 289-330. London: Elsevier Applied Science, 1988.
306. Patel, Raj. *Integrated Design and the Virtual Environment*. Arup, 2007. <http://www.ceracq.ca/pdf/colloque2007/Arup.pdf>

307. Pattanaik, S.C., and A.S. Kumar, „A Study of Nalco Fly Ash on Compressive Strength for Effective Use in High Volume Mass Concrete for a Sustainable Development“ (paper presented at the International Conference on Sustainable Technologies for Concrete Constructions, Mumbai, 2010).
308. Peerdeman, Bart. „Analysis of Thin Concrete Shells Revisited: Opportunities due to Innovations in Materials and Analysis Methods“. Master thesis, Delft University of Technology, 2008.  
[http://homepage.tudelft.nl/p3r3s/MSc\\_projects/reportPeerdeman.pdf](http://homepage.tudelft.nl/p3r3s/MSc_projects/reportPeerdeman.pdf)
309. Pemberton, J.M. „Ferrocement – An insight and review – So what is new?“. In *Ferrocement 6, Lambot Symposium: Proceedings of the Sixth International Symposium on Ferrocement*, edited by A. E. Naaman. Ann Arbor: University of Michigan, 1998.
310. Pérez-Lombard, L., J. Ortiz, and C. Pout. „A review on buildings energy consumption information“. *Energy and Buildings* 40, (2008): 394-398.
311. Philipp, R., K. Pond, G. Rees, and J. Bartram. „The association of tourist health with aesthetic quality and environmental values“. In *Proceedings of European Conference on Travel Medicine: Mobility and Health: From Hominid Migration To Mass Tourism*, edited by W. Pasini, 195-199. WHO Collaborating Centre for Tourist Health and Travel Medicine, 1998.
312. Piano, Renzo. „Renzo Piano: Closer to Nature“. Interview by Luigi Prestinzenza Puglisi. *Luminous 3: Sustainable development*, 2009. 8-9.  
[http://www.lighting.philips.com/pwc\\_li/gb\\_en/lightcommunity/trends/luminous/Luminous3.pdf](http://www.lighting.philips.com/pwc_li/gb_en/lightcommunity/trends/luminous/Luminous3.pdf)
313. Piano, Renzo. *Menil: The Menil Collection*. Renzo Piano, 2013.
314. Roche, P., and C. Frapier. „Antti Lovag: Architecte Anti-conformiste“. *Laboratoire Urbanisme Insurrectionnel*. Accessed August 18, 2012.  
<http://laboratoireurbanismeinsurrectionnel.blogspot.com/2011/10/antti-lovag-architecte-anti-conformiste.html>
315. Porteous, John Douglas. *Environmental Aesthetics: Ideas, Politics, Planning*. New York and London: Routledge, 1996.
316. *Promoting space efficiency in building design* (Research report). Space Management Group, March 2006.

317. Pucar, M., M. Pajević, i M. Jovanović-Popović. *Bioklimatsko planiranje i projektovanje – urbanistički parametri*. Beograd: Zavet, 1994.
318. Purkiss, John. *Fire Safety Engineering Design of Structures*. CRC Press, 2006.
319. Radonjanin V., M. Malešev i S. Marinković. „Mogućnosti primene starog betona kao nove vrste agregata u savremenom građevinarstvu“. *Zaštita materijala* 51, no.3 (2010): 178-188.
320. Radonjanin, V. i M. Malešev. „Karakteristična oštećenja zidanih konstrukcija“. *Izgradnja* 59, no.7-9 (2005): 214-220.
321. Rafeeqi, S.F.A., and T. Ayub. „Investigation of versatility of theoretical prediction models for plain concrete confined with ferrocement“. *Asian Journal of Civil Engineering (Building and Housing)* 12, no.3 (2011): 337-352.
322. Rajkumar, D.S., V. Rajkumar, and R. Sundararajan. „Ductility and energy absorption capacity of hybrid ferrocement hollow slabs subjected to cyclic loading“. In *Ferro10 - 10<sup>th</sup> International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites*, edited by H.W. Rivas, L.P. Seoane, and I.G. Castro, 269-277. Havana: UNIAICC, 2012.
323. Raju, N.H.M., R. Kishore, and V. Bhikshma. „Flexural behavior of high strength stone dust concrete“. In *Challenges, Opportunities and Solutions in Structural Engineering and Construction*, edited by N. Ghafouri. CRC Press, 2009.
324. Rambow, Riklef. *Experten-Laien-Kommunikation in der Architektur*. Waxmann, 2000.
325. Rambow, R., and I. Benz. „Materiality in Architecture: Effects of Expertise on Perception and Evaluation“. In *Urban Diversities, Biosphere and Well-being: Designing and Managing Our Common Environment (IAPS20 Conference Proceedings on CD-Rom)*, edited by M. Bonaiuto, M. Bonnes, AM. Nenci, G. Carrus. IAPS, 2008.
326. Ramm, E. „Ultimate Load and Stability Analysis of Reinforced Concrete Shells“. In *Proceedings of the IABSE Colloquium 'Computational Mechanics of Reinforced Concrete'*, 145-159. IABSE, 1987.
327. Ranković, Nenad. „Pošumljavanje u Srbiji u periodu od 1961-2007. godine sa posebnim osvrtom na crni i beli bor“. *Glasnik Šumarskog fakulteta* 99, (2009): 115-134.

328. Ратковић, Ж. „Култура пословања“. У *Време архитектуре: архитектура и урбанизам у Ваљевоу 2004-2009*, уредник Милан Максимовић, 137-143. Ваљево: Друштво архитеката Ваљева, Издавачко друштво Колубара, Инжењерска комора Србије, 2010.
329. Reid Architecture, and Buro Happold. *Multispace: Adaptable Building Design Concept* (Unpublished Report), 2005.
330. Reiser, J., N. Umemoto, and J. Ocampo. „Case Study: O-14 Folded Exoskeleton“. *CTBUH Journal III*, 2010.
331. Republička agencija za prostorno planiranje. *Strategija prostornog razvoja Republike Srbije 2009 – 2013 – 2020*. Beograd: Ministarstvo životne sredine i prostornog planiranja, Republička agencija za prostorno planiranje, 2009.
332. *Rešenja za energetsку ефикасност - Sistemi ефикасне градње*. Lafarge, 2013.
333. Ricciotti, R. „Rudy Ricciotti’s material dreams“. CRESCENDO special edition: Concrete innovation for new architectural challenges, 2008. 28-29.
334. Rile, H. *Prostorne krovne konstrukcije*. Beograd: Građevinska knjiga, 1977.
335. Ritchie, I. „Synthetic Thinking between Engineers, Architects and Developers“. In *Redefining the Design Team*. Cambridge: Interdisciplinary Design for the Built Environment, 1995.
336. Rivas, H.W. „Low Cost Housing Built with Ferrocement Precast Elements“. *Journal of Ferrocement* 24, no.1 (1994): 29-34.
337. Rivas, H.W., and Z.L. Hernandez. „Sistema de edificios residenciales seismoresistentes de ferrocemento (SERF): Una opcion para la construccion de viviendas de interes social“. In *Ferro10 - 10<sup>th</sup> International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites*, edited by H.W. Rivas, L.P. Seoane, and I.G. Castro, 375-386. Havana: UNIAICC, 2012.
338. Roberts-Hughes, R. *The Case for Space: the size of England’s new homes*. Royal Institute of British Architects, 2011.
339. Rohini, S., R. Thenmozhi, and S. Deepa Shri. „Finite Element Modeling of Ferrocement slabs in flexure using ANSYS“. *International Journal of Emerging trends in Engineering and Development* 4, no.2 (2012): 500-508.
340. *Руководство по технико-экономической оценке способов формирования бетонных и железобетонных изделий*. Стройиздат, 1978.

341. Russell, P., and S. Moffatt. *Assessing Buildings for Adaptability. Annex 31 - Energy-Related Environmental Impact of Buildings*. International Energy Agency (IEA), 2001.
342. Rutkin, Kimberly. „User Preference Of Interior Design Elements In Hotel Lobby Spaces“. Master Thesis, University of Florida, 2005.
343. Sadalla, E.K., and V. L. Sheets. „Symbolism in building materials: Self-presentational and cognitive components“. *Environment and Behavior* 25, no.2 (1993): 155-180.
344. Sandaker, Bjorn. *On Span and Space: Exploring structures in architecture*. London: Routledge, 2000.
345. SAUL Intelligence Unit. *UNBOUND Uncommissioned Report Performance, Energy Use and Environmental Performance in Public Buildings* (Research report). The SAUL Press, 2012.
346. *Savremeni koncept obezbeđivanja trajnosti betonskih konstrukcija - projektovanje prema upotrebnom veku* (Predavanje održano u Inženjerskoj komori Srbije u okviru programa permanentnog usavršavanja, rukovodilac predavanja S. Marinković, predavač I. Ignjatović, oktobar 2008).
347. Schoenwald, Stefan. „Flanking sound transmission through lightweight framed double leaf walls – Prediction using statistical energy analysis“. PhD diss., Technische Universiteit Eindhoven, 2008.
348. Schultmann, F., N. Sunke, and P. Krüger. „Global Performance Assessment of Buildings: A Critical Discussion of its Meaningfulness“. In *Proceedings of the 3rd CIB International conference on Smart and Sustainable Built Environments (SASBE2009)*, edited by R. Vehler, M. Verhoeven, and M. Fremouw. Delft: Delft University of Technology, 2009.
349. Schwitter, C. „Engineering Complexity: Performance-Based Design in Use“. In *Performative Architecture Beyond Instrumentality*, edited by B. Kolarevic, and A.M. Malkawi, 111-122. New York: Spon Press, 2005.
350. Senosiain, J. „Aguilar: Arquitectura organica“. In *Ferro10 - 10<sup>th</sup> International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites*, edited by H.W. Rivas, L.P. Seoane, and I.G. Castro, 427-436. Havana: UNIAICC, 2012.



351. Sev, A., and A. Özgen. „Space efficiency in High-rise Office Buildings“. *METU JFA* 26, no.2 (2009): 69–89.
352. Shah, S.P., and A.E. Naaman. „Crack Control in Ferrocement and its Comparison with Reinforced Concrete“. *Journal of Ferrocement* 8, no.2 (1978): 67-80.
353. Sharma, P.C. „Ferrocement technology – Commercial Viability in India“. *Journal of Ferrocement* 30, no.3 (2000): 249-259.
354. Sheela, S., and N. Ganesan. „Flexural behaviour of polymer modified ferrocement elements with defferent types of fine agregates“. *Journal of ferrocement* 35, no.2 (2005): 541-558.
355. *Significance of Tests and Properties of Concrete and Concrete Making Materials*, edited by J. F. Lamond, and J. H. Pielert. ASTM International, 2006.
356. Smith, Peter. *Architecture In A Climate Of Change: A Guide to Sustainable Design*. Elsevier/Architectural Press, 2005.
357. Somayaji, S., and A.E. Naaman. „Stress-Strain Response and Cracking of Ferrocement in Tension“. *Journal of Ferrocement* 11, no.2 (1981): 127-142.
358. Spekkink, D., EGM architecten, Spekkink CandR. *Performance Based Design of Buildings, PeBBu DOMAIN 3 Final Report*, 2005.  
[http://www.pebbu.nl/resources/allreports/downloads/07\\_D3\\_FinalReport.pdf](http://www.pebbu.nl/resources/allreports/downloads/07_D3_FinalReport.pdf)
359. Starossek, U., and M. Haberland. „Measures of structural Robustness - Requirements and Applications“. In *Proceedings of the Structures Congress 2008: Crossing Borders*, edited by D. Anderson, C. Ventura, D. Harvey, and M. Hoit. ASCE, 2008.
360. Stein, Matthew. *When Technology Fails: A Manual for Self-Reliance, Sustainability, and Surviving the Long Emergency*. Chelsea Green Publishing, 2008.
361. Stevanović, B. „Zidane konstrukcije“. *Materijali i konstrukcije* 48, br.4 (2005): 50-56.
362. Straube, J., and J. Smegal. *Building America Special Research Project: High-R Walls Case Study Analysis* (Research Report– 0903). Building Science Press, 2009.
363. Sudhakumar, J. „Studies on the thermal performance of ferrocement roofs“. In *Proceedings of the 26th Conference on Our World in Concrete and Structures*, edited by C.T. Tam, 599-604. Singapore: CI-Premier, 2001.

364. Sumadi, S.R., and M. Ramli. *Development of Lightweight Ferrocement Sandwich Panels for Modular Housing and Industrialized Building System* (Project Report). Skudai, Malaysia: Faculty of Civil Engineering, 2008.
365. Summers, J.J., and K. Farahmandpour. „Essential Elements of Durable Exterior Masonry Walls“ (paper presented at the RCI's Symposium on Building Envelope Technology, New Orleans, November 2004).
366. *Sustainability Guidelines for the Structural Engineer*, edited by D. M. Kestner, J. Goupil, and E. Lorenz. Reston: ASCE, 2010.
367. Swamy, R.N., and Y.B.I. Shaheen. „Tensile Behaviour of Thin Ferrocement Plates“. In *Proceedings of Thin-Section Fiber Reinforced Concrete and Ferrocement*, edited by J.I. Daniel, and S.P. Shah. Detroit: American Concrete Institute, 1990.
368. Šumarac, Dragoslav. „Energy Efficiency of Buildings in Serbia – State of the Art and Perspectives“. *Termotehnika* XXXVI, br.1 (2010): 11–29.
369. Šumarac, D., M. Todorović, M. Đurović-Petrović, and N. Trišović. „Energy Efficiency of Residential Buildings in Serbia“. *Thermal Science* 14, (2010): 97-113.
370. Takiguchi, K, and Abdullah. „Ferrocement as an alternative material to enhance seismic performance of R/C columns“. *Journal of ferrocement* 30, no.2 (2000): 177-189.
371. Takiguchi, K, and Abdullah. „Ferrocement as Strengthening and Repairing Material for R/C Columns“. *Journal of Ferrocement* 34, no.4 (2004): 433-444.
372. Takiguchi, K., and Abdullah. „Experimental Investigations on Ferrocement as an Alternative Material to Strengthen Reinforced Concrete Columns“. *Journal of Ferrocement* 30, no.2 (2000): 177-190.
373. *Tall Buildings: A Strategic Design Guide*, edited by Z. Strelitz. London: RIBA Publishing, 2005.
374. Tampone, G., and N. Ruggieri. „Structural invention and production process in the Pier Luigi Nervi's work“. In *Proceedings of the First International Congress on Construction History*, edited by S. Huerta, 1921-1929. Madrid: Instituto Juan de Herrera, 2003.
375. Tat, L.S., and H.C. Qian. „Elastic Stiffness Properties and Behaviour of Truss-Core Sandwich Panel“. *Journal of Structural Engineering* 126, no.5 (2000): 552- 559.

376. Thangavel, K., S. Muralidharan, V. Saraswathy, M.A. Quraishi, and K.Y. Ann. „Migrating vs admixed corrosion inhibitors for steel in portland, pozzolona and slag cement concretes under macro cellcondition“. *The Arabian Journal for Science and Engineering* 34, 2C, (2009): 81-93.
377. The AIA Sustainability Discussion Group. *50»50 - SustAIAnability2030*. AIA, 2007.
378. Thormark, C. „A low energy building in a life cycle - its embodied energy, energy need for operation and recycling potential“. *Building and Environment* 37, (2002): 429-435.
379. Tian, S., P. Mandal, and P. Nedwell. „Shear behavior of ferrocement beams: experimental and fem study“. In *Ferro10 - 10<sup>th</sup> International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites*, edited by H.W. Rivas, L.P. Seoane, and I.G. Castro, 261-268. Havana: UNIAICC, 2012.
380. Topcu, I.B. „Physical and mechanical properties of concrete produced with waste concrete“. *Cement and Concrete Research* 27, no.12 (1997): 1817-1823.
381. Torroja, Eduardo. *Philosophy of Structures*. Berkeley: University of California Press, 1958.
382. Tsivilis S., J. Tsantilas, G. Kakali, E. Chaniotakis, and A. Sakellariou. „The permeability of Portland limestone cement concrete“. *Cement and Concrete Research* 33 no.9 (2003): 1465–1471.
383. Tsivilis, S., E. Chaniotakis, G. Kakali, and G. Batis. „An analysis of the properties of Portland limestone cements and concrete“. *Cement and Concrete Composites* 24, no.3–4 (2002): 371–378.
384. Ulrich, R, Q. Xiaobo, C. Zimring, J. Anjali, and R. Choudhary. *The Role of the Physical Environment in the Hospital of the 21st Century: A Once-in-a-Lifetime Opportunity* (Research report). The Center for Health Design, 2004.
385. UNEP Ozone Secretariat. *Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer*, 2010.
386. United Nations. *Earth Summit - Agenda 21: The United Nations Programme of Action from Rio*. New York: UN Department of Public Information, 1992.
387. United Nations. *Report of the United Nations Conference on Environment and Development, Annex I - Rio Declaration on Environment and Development*. Rio de Janeiro: United Nations publication, 1992.

388. *Use of Recycled Water in Concrete Production* (Report). Cement Concrete and Aggregates Australia, 2007.
389. Van der Ryn, S., and S. Cowan. *Ecological Design*. Washington, DC: Island Press, 2007.
390. Vasiljević, A., i Glavonjić, B. „Sertifikacija šuma i proizvoda od drveta u Srbiji u kontekstu novih regulativa evropske unije - aktuelno stanje, problemi i izazovi“. *Glasnik Šumarskog fakulteta* 103, (2011): 7-28.
391. Vatwong, G., and N. Pichai. „Structural integrity of ferrocement panels exposed to fire“. *Cement and Concrete Composites* 30, no.5 (2008): 419–430.
392. Vietmeyer, N. D. *Background-information on ferro-cement as a boatbuilding material for developing countries* (Report). Pakistan, 1971.
393. Walkus, B.R. „The Behaviour of Ferrocement in Bending“. *Journal of Structural Engineering* 3, no.3 (1975): 113-125.
394. Walsh, R., P. Kenny, and V. Brophy. *Thermal Mass and Sustainable Building: Improving Energy Performance and Occupant Comfort, A practical guide for designers*. Irish Concrete Federation, 2006.
395. Wang, S., A. E. Naaman, and V.C. Li. „Bending response of hybrid ferrocement plates with meshes and fibers“. *Journal of ferrocement* 34, (2004): 275-288.
396. Wang, Y. „The effect of Bond Characteristics Between Steel Slag fine Aggregate and Cement Paste on Mechanical Properties of Concrete and Mortar“. In *MRS Proceedings*, vol. 114. Materials Research Society, 1988.
397. Weisman, J. „Evaluating Architectural Legibility: Way-finding and the Built Environment“. *Environment and Behavior* 13, no.2 (1981): 189-204.
398. Wieland, M. „Analyses and design of shell structures“. In Short course on design and construction of ferrocement structures, International Ferrocement Information Center, Bangkok, January 1985. Quoted in Carli Hammer. „Optimization of dome housing in Sri Lanka“. Master Thesis, Delft University of Technology, 2006, 57. <http://static.monolithic.com/pdfs/thesis/hammer.pdf>
399. Wille, K., and A.E. Naaman. „Preliminary Investigation on Ultra-High Performance Ferrocement“. In *Ferro10 - 10<sup>th</sup> International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites*, edited by H.W. Rivas, L.P. Seoane, and I.G. Castro, 251 - 260. Havana: UNIAICC, 2012.

400. Williams, D.R., M.E. Patterson, J.W. Roggenbuck, and A. Watson. „Beyond the commodity metaphor: examining emotional and symbolic attachment to place“. *Leisure Sciences* 14, no.1 (1992): 29-46.
401. Wilson, M.A. „The socialization of architectural preference“. *Journal of Environmental Psychology* 16, (1996): 33-44.
402. Working Group for Sustainable Construction. *Competitiveness of the Construction Industry: An agenda for sustainable construction in Europe* (A report drawn up by the Working Group for Sustainable Construction with participants from the European Commission, Member States and Industry, Brussels, 2001). <http://www.gci-uicp.eu/Documents/Reports/Sust-con-final.pdf>
403. Working Group on Decoupling. *Decoupling Natural Resource Use and Environmental Impacts from Economic Growth*, edited by International Resource Panel. UNEP, 2011.
404. Worrell, E., L. Price, N. Martin, C. Hendriks, and L.O. Meida. „Carbon Dioxide Emissions from the Global Cement Industry“. *Annual Review of Energy and the Environment* 26, (2001): 303–329.
405. Wright, Frank Lloyd. „In the Cause of Architecture: VII. The Meaning of Materials – Concrete“. *Architectural Record*, August 1928, (1928): 98-104.
406. Xing, S., Z. Xu, and G. Jun. „Inventory analysis of LCA on steel and concrete-construction office buildings“. *Energy and Buildings* 40, no.7 (2008): 1188-1193.
407. Xiong, J.G., and G. Singh. „Review of the fatigue Behaviour of Ferrocement in a Corrosive Environment“. *Journal of Ferrocement* 27, (1997): 7-18.

## ПОПИС СЛИКА

<b>Слика 1.</b> Улази и излази током животног циклуса изграђених капацитета. [Извор: Environmental Protection Agency, <i>Life Cycle Assessment: Principles and Practice</i> (Cincinnati, 2006), 1]-----	16
<b>Слика 2.</b> Фазе животног циклуса зграде према EN 15978:2011 методи. [Извор: European Committee for Standardization (CEN), <i>EN 15978:2011 - Sustainability of construction works - Assessment of environmental performance of buildings - Calculation method</i> (Brussels: CEN, 2011)]-----	21
<b>Слика 3.</b> Мерило еколошког квалитета зграде [Извор: Илустрација аутора]-----	22
<b>Слика 4.</b> Начин како потрошња енергије расте током животног циклуса зграде. [Извор: M. F. Ashby, <i>Materials and the Environment: Eco-Informed Material Choice</i> (Elsevier, 2012), 285]----	52
<b>Слика 5.</b> Приказ стратегије вентилације у зимском периоду, кроз аксонометријски пресек, примењене у пословној згради WAT-а, Карлсруе, Немачка, 1995., архитектонско решење Архитектонски биро Гинтер Леонард. [Извор: IEA Solar Heating and Cooling Task 23, <i>Examples of Integrated Design: Five Low Energy Buildings Created Through Integrated Design</i> , edited by G. van Cruchten, 2000, 29]-----	58
<b>Слика 6.</b> Кружење ваздуха кроз ошупљену ТермоDeck таваницу [Извор: ТермоDeck]-----	58
<b>Слика 7.</b> Бетонска међуспратна таваница током изградње пословне зграде компаније PowerGen; Ковентри, УК, 1994., архитектонско решење, Бенетс и Сарадници. [Извор: V. T. O'Neill, G. Shaw and M. Flynn, <i>Project Profile: PowerGen Headquarters</i> (British Cement Association, 1996), 7]-----	59
<b>Слика 8.</b> Оплате за израду армиранобетонске међуспратне конструкције пословне зграде компаније PowerGen; Ковентри, УК, 1994., архитектонско решење, Бенетс и Сарадници. [Извор: V. T. O'Neill, G. Shaw and M. Flynn, <i>Project Profile: PowerGen Headquarters</i> (British Cement Association, 1996), 9]-----	59
<b>Слика 9.</b> Унутрашњи елементи који рефлектују светлост на глатке површине засвођене бетонске таванице, у оквиру зграде Градског већа; Лимерик, УК, 2003., архитектонско решење Бухолц МекЕвој Архитекти. [Извор: SAUL Intelligence Unit, <i>UNBOUND Uncommissioned Report Performance, Energy Use and Environmental Performance in Public Buildings</i> (Research report) (The SAUL Press, 2012), 13]-----	60
<b>Слика 10.</b> Армиранобетонске међуспратне таванице у облику бачвастих сводова, у згради компаније Wessex Water; Бат, УК, 2000, архитектонско решење, Бенетс и Сарадници. [Извор: P. F. Smith, <i>Architecture In A Climate Of Change: A Guide to Sustainable Design</i> (Elsevier/Architectural Press, 2005), 137]-----	60

- Слика 11.** Засвођене армирано бетонске међуспратне таванице у оквиру зграде организације BRE; Гарстон, УК, 1996., архитектонско решење Фајлден Клег Бредли Архитекти. [Извор: С. Harrison, *The Environmental Building, The Building Research Establishment (BRE) Office Building, Case Study*, 2006, 5]----- 61
- Слика 12.** Стратегија вентилације, илустрована у оквиру попречног пресека; зграда организације BRE, Гарстон, УК, 1996., архитектонско решење Фајлден Клег Бредли Архитекти. [Извор: С. Harrison, *The Environmental Building, The Building Research Establishment (BRE) Office Building, Case Study*, 2006, 3] ----- 61
- Слика 13.** Попречни пресек кроз синусоидну међуспратну таваницу – 1-светилке, 2-слој са уграђеним системом за грејање и хлађење, 3-подигнути под, 4-вентилациони канал, 5-префабриковане таласасте бетонске љуске са слојем бетона ливеног на лицу места; зграда организације BRE, Гарстон, УК, 1996., архитектонско решење Фајлден Клег Бредли Архитекти. [Извор: Fielden Clegg Architects] ----- 62
- Слика 14.** Основни типови носећих конструкција са доминантним ефектима оптерећења. [Извор: F. Kind-Barkauskas, B. Kauhsen, S. Polonyi, and J. Brandt, *Concrete construction manual* (Basel-Boston-Berlin: Birkhäuser, 2002), 107]----- 66
- Слика 15.** Апроксимативна структура отпада насталог рушењем објеката у Европској унији. [Извор: N.D. Oikonomou, „Recycled concrete aggregates“, *Cement and Concrete Composites* 27 (2005): 315-318, 316] ----- 73
- Слика 16.** Модел конструкције зграде седишта CCTV-а, израђен за потребе тестирања перформанси конструкције при дејству земљотреса; фаза реализације пројеката; Пекинг, Кина. [Извор: С. Carroll, P. Cross, X. Duan, C. Gibbons, G. Ho, M. Kwok, R. Lawson, A. Lee, R. Li, A. Luong, R. McGowan, and Pope, „Case Study: CCTV Building - Headquarters & Cultural Center“, *CTBUH Journal*, 2008, 3]----- 84
- Слика 17.** Тестирање сеизмичких перформанси седмоспратне зграде изведене у дрвету. [Преузето са <http://www.earthquake-insurance.net/2009/earthquake-condo-building-codes/>, 28.1.2011.] ----- 84
- Слика 18.** Конструкција и социјални простор – основа. [Извор: Илустрација аутора] ----- 96
- Слика 19.** Конструкција и социјални простор – попречни пресек. Мултифункционални центар у Бусану, у Јужној Кореји, 2012., архитектонско решење Куп Химелб(л)ау. [Преузето са <http://www.dezeen.com/2012/09/18/busan-cinema-centre-by-coop-himmelblau/>, 15.2.2011.]-- 96
- Слика 20.** Фредерик Кислер, „Endless House“, 1947–1961, модел, основа. [Преузето са <http://www.archdaily.com/126651/>, 30.2.2011.] ----- 96

- Слика 21.** Заха Хадид, Макси музеј, Рим, 2009., ентеријер при дневном светлу, ентеријер при вештачком осветљењу. [Преузето са <http://blogs.cornell.edu/cornellinrome/2010/04/30/maxxi-by-zaha-hadid/>, 14.3.2011.] ----- 114
- Слика 22.** Луис Кан, Кимбел музеј, Форт Ворт, Тексас, 1972., ентеријер. [Извор: *Louis Kahn and the Art of Light* (Fort Worth: Kimbell Art Museum, 2003)] ----- 115
- Слика 23.** Рајсер+Умето, О-14, Дубаи, Уједињени Арапски Емирати, 2010., изградња, носећи фасадни зид, фасада. [Преузето са <http://www.morfae.com/0795-reiser-umemoto/> и <http://www.archdaily.com/22200/in-progress-0-14-tower-by-reiser-umemoto/>, 19.3.2011.] ----- 116
- Слика 24.** Стратегија осветљења илустрована кроз попречни пресек; зграда музеја Менил, Хјустон, Тексас, 1987., архитекта Ренцо Пиано. [Извор: С. Abel, *Architecture, Technology and Process* (Routledge, 2004), 74]----- 116
- Слика 25.** Ренцо Пиано., Музеј Менил, Хјустон, Тексас, 1987., ентеријер. [Преузето са [http://morandonaamerica.com/?attachment\\_id=17085](http://morandonaamerica.com/?attachment_id=17085), 4.4.2011.]----- 116
- Слика 26.** Заха Хадид, Макси музеј, Рим, 2009., ентеријер. [Преузето са <http://indulgy.com/post/SP7vm2fZ61/zaha-hadid-maxxi-museum-of-xxi-century-arts>, 25.5.2011.] ----- 118
- Слика 27.** Тојо Ито, „Serpentine Pavillion“, Лондон, 2002., фасада. [Преузето са [http://www.allposters.com.br/-sp/Serpentine-Gallery-Pavilion-2002-Kensington-Gardens-London-Architect-Toyo-Ito-with-Arup-posters\\_i7180251\\_.htm](http://www.allposters.com.br/-sp/Serpentine-Gallery-Pavilion-2002-Kensington-Gardens-London-Architect-Toyo-Ito-with-Arup-posters_i7180251_.htm), 3.6.2011.]----- 119
- Слика 28.** Заха Хадид, Макси музеј, Рим, 2009., ентеријер. [Преузето са <http://www.architectural.com/zaha-hadid-architects-maxxi-national-museum-of-xxi-arts/maxxi-rome-zha-8450/>, 14.6.2011.; <http://www.ecomanta.com/2009/11/zaha-hadid-and-maxxi-conquer-rome.html>, 14.6.2011.; <http://meng-design200.blogspot.com/2011/01/a02.html>, 14.6.2011.] ----- 122
- Слика 29.** Складиште трансформисано у стамбени простор, Сан Франциско, 2010., архитектонско решење Едмондс + Ли Архитекти. [Преузето са <http://www.chictip.com/dream-homes/dream-home-oriental-warehouse-loft-by-edmonds-lee-architects>, 2.7.2011.]----- 123
- Слика 30.** Бернард Чуми, Концертна хала, Лимож, Француска, 2007. [Преузето са <http://abduzeedo.com/architect-day-bernard-tschumi>, 5.7.2011.] ----- 123
- Слика 31.** Градивни елементи архитектонског простора. [Преузето са [http://www.arh.bg.ac.rs/upload/0809/Osnovne\\_akademske\\_studije/Semestar\\_02/Elementi\\_projektovanja/gradivni\\_elmenti\\_prostora.pdf](http://www.arh.bg.ac.rs/upload/0809/Osnovne_akademske_studije/Semestar_02/Elementi_projektovanja/gradivni_elmenti_prostora.pdf), 13.8.2011.] ----- 124
- Слика 32.** Заха Хадид, Макси музеј, Рим, 2009., ентеријер. [Преузето са <http://redchalksketch.wordpress.com/2010/10/17/maxxination-museum-of-xxi-century-arts-by-zaha-hadid-architects/>, 24.9 2011.; <http://www.bdonline.co.uk/news/zaha-hadid-maxxi-museum-opens-in-rome/5000440.article>, 24.9 2011.]----- 125



<b>Слика 33.</b> Студио Даниел Либескинд, „Bord Gáis Energy Theatre“, Даблин, Ирска, 2011., фасада. [Преузето са <a href="http://grandcanalhotel.blogspot.com/2010_05_01_archive.html">http://grandcanalhotel.blogspot.com/2010_05_01_archive.html</a> , 15.10.2011.]	126
<b>Слика 34.</b> Сагледавање физичко хемијске димензије простора.	126
<b>Слика 35.</b> Изглед дрвета након процеса пропадања. [Преузето са <a href="http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296207412000659">http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1296207412000659</a> , 20.10.2011.]	127
<b>Слика 36.</b> Изглед челика након процеса пропадања. [Преузето са <a href="http://www.european-coatings.com/layout/set/print/Raw-Materials-Technologies/Applications/Protective-Marine/Protect-carbon-steel-with-siloxane-sol-films">http://www.european-coatings.com/layout/set/print/Raw-Materials-Technologies/Applications/Protective-Marine/Protect-carbon-steel-with-siloxane-sol-films</a> , 24.10.2011.]	127
<b>Слика 37.</b> Изглед бетона након процеса пропадања. [Преузето са <a href="http://www.matcoinc.com/home/whats-new/193-discovery-channel-at-matco-de-icing-salts-corrosion-and-infrastructure">http://www.matcoinc.com/home/whats-new/193-discovery-channel-at-matco-de-icing-salts-corrosion-and-infrastructure</a> , 27.10.2011.]	127
<b>Слика 38.</b> Старење дрвета. [Преузето са <a href="http://www.stonepropertyservices.co.uk/dpc_timber.html">http://www.stonepropertyservices.co.uk/dpc_timber.html</a> , 4.11.2011.]	127
<b>Слика 39.</b> Старење бетона. [Преузето са <a href="http://www.matcoinc.com/home/whats-new/193-discovery-channel-at-matco-de-icing-salts-corrosion-and-infrastructure">http://www.matcoinc.com/home/whats-new/193-discovery-channel-at-matco-de-icing-salts-corrosion-and-infrastructure</a> , 5.11.2011.]	127
<b>Слика 40.</b> Дејан Миљковић, Јован Митровић и Бранко Павић, Анекс Куле Небојша, Београд, ентеријер улазног хола. [Преузето са <a href="http://www.novosti.rs/vesti/kultura.71.html:372395-Novosti-predstavljaju-najbolje-arhitektonske-radove">http://www.novosti.rs/vesti/kultura.71.html:372395-Novosti-predstavljaju-najbolje-arhitektonske-radove</a> , 4.12.2012.]	129
<b>Слика 41.</b> Подземни пролаз.	129
<b>Слика 42.</b> Еладио Диесте, Складиште, Монтевидео, Уругвај, 1979., ентеријер. [Преузето са <a href="http://www.mtop.gub.uy/salasaiez/dieste/puerto1.jpg">http://www.mtop.gub.uy/salasaiez/dieste/puerto1.jpg</a> , 18.11.2011.]	131
<b>Слика 43.</b> Необјављена анкета корисника у вези са квалитетима простора школске зграде. [Извор: В. Bordass, „Design intent to Reality: Post-Occupancy Evaluation, comfort and human factors“, Joint Workshop SEAI and SFI-SRC ИТОВО, University College Cork, 2011]	132
<b>Слика 44.</b> Патент за Ферицимент, 1855. [Извор: F. Kind-Barkauskas, В. Kauhsen, S. Polonyi, and J. Brandt, <i>Concrete construction manual</i> (Basel-Boston-Berlin: Birkhäuser, 2002),13]	141
<b>Слика 45.</b> Типична структура елемента од фeroцементa. [Извор: ACI Committee 549, <i>State-of-the-Art Report on Ferrocement, ACI 549R-97</i> (Farmington Hills: American Concrete Institute,1997)]	143
<b>Слика 46.</b> Стандардне геометрије мрежа за армирање фeroцементa. [Извор: Комисија за стандарде из области Бетонских конструкција, <i>Техничка препорука за фeroцемент - Pravila za projektovanje, izvođenje i održavanje</i> (Београд: Savezni завод за standardizaciju, 2002), 7 i 12]	145

<b>Слика 47.</b> Сугерисани детаљ који треба да осигура адекватно понашање композита [Извор: А.Е. Naaman, <i>Ferrocement and Laminated Cementitious Composites</i> (Ann Arbor: Techno Press 3000, 2000), 167] -----	151
<b>Слика 48.</b> Арматурни систем извођења фероцементне конструкције. [Преузето са <a href="http://biogasplant.blogspot.com/2012/10/step-two-construction-of-ferrocement.html">http://biogasplant.blogspot.com/2012/10/step-two-construction-of-ferrocement.html</a> , 1.2.2012.] -	153
<b>Слика 49.</b> Затворена оплата са посебном оплатом за кружни прозор. [Преузето са <a href="http://www.milinkovicco.com/preuzimanje_fajlova/slike/hale/izgradnja/1.jpg">http://www.milinkovicco.com/preuzimanje_fajlova/slike/hale/izgradnja/1.jpg</a> , 7.2.2012.]-----	155
<b>Слика 50.</b> Систем интегралне оплате од крутих изолационих материјала. [Извор: Илустрација аутора] -----	155
<b>Слика 51.</b> Извођење фероцемента применом отворене оплате од готових фероцементних елемената. [Преузето са <a href="http://www.atcdhaka.com/fero.html">http://www.atcdhaka.com/fero.html</a> , 15.2.2012]-----	156
<b>Слика 52.</b> Извођење фероцемента у систему отворене оплате реализоване обликовањем земљане подлоге. [Преузето са <a href="http://www.naturalbuildingblog.com/?attachment_id=4820">http://www.naturalbuildingblog.com/?attachment_id=4820</a> , 18.2.2012.] -----	156
<b>Слика 53.</b> Напон течења челичне арматурне мреже $f_y$ . [Извор: Komisija za standarde iz oblasti Betonskih konstrukcija, <i>Tehnička preporuka za ferocement: Ferocement - Pravila za projektovanje, izvođenje i održavanje</i> (Beograd: Savezni zavod za standardizaciju, 2002), 36] -----	159
<b>Слика 54.</b> Типична напонско-дилатацијска крива при затезању фероцементног елемента. [Извор: Komisija za standarde iz oblasti Betonskih konstrukcija, <i>Tehnička preporuka za ferocement: Ferocement - Pravila za projektovanje, izvođenje i održavanje</i> (Beograd: Savezni zavod za standardizaciju, 2002), 37]-----	159
<b>Слика 55.</b> Шематски приказ напонско-деформацијске криве. [Извор: EN 1992-1-1, 2004.] 161	
<b>Слика 56.</b> Типичне напонско-деформацијске криве при затезању фероцементног елемента, армираног челичним мрежама. [Извор: ACI Committee 549, <i>State-of-the-Art Report on Ferrocement, ACI 549R-97</i> (Farmington Hills: American Concrete Institute, 1997), 12] -----	164
<b>Слика 57.</b> Дијаграм зависности оптерећење-издужење за мреже добијене развлачењем и заварене мреже. [Извор: ACI Committee 549, <i>State-of-the-Art Report on Ferrocement, ACI 549R-97</i> (Farmington Hills: American Concrete Institute, 1997), 13] -----	165
<b>Слика 58.</b> Однос броја слојева мрежа и издужења композита. [Извор: А.Е. Naaman, <i>Ferrocement and Laminated Cementitious Composites</i> (Ann Arbor: Techno Press 3000, 2000), 34] -----	165
<b>Слика 59.</b> Утицај специфичне површине арматуре на особине фероцемента. [Извор: А.Е. Naaman, <i>Ferrocement and Laminated Cementitious Composites</i> -----	166
<b>Слика 60.</b> Дијаграми зависности оптерећење-издужење при затезању фероцементних узорака армираних завареним челичним мрежама различите оријентације. [Извор: М. Arif,	

- Pamkaj and S.K. Kuasik, „Mechanical Behavior of Ferrocement Composites: An Experimental Investigation“, *Cement and Concrete Composites* 21, no.4 (1999): 301-312] ----- 167
- Слика 61.** Утицај оријентације мрежа на носивост фероцемента при затезању и односи степена ефикасности. [Извор: ACI Committee 549, *State-of-the-Art Report on Ferrocement, ACI 549R-97* (Farmington Hills: American Concrete Institute, 1997), 8] ----- 167
- Слика 62.** Дијаграм зависности оптерећење-угиби при савијању фероцемента. [Извор: А.Е. Нааман, *Ferrocement and Laminated Cementitious Composites* (Ann Arbor: Techno Press 3000, 2000), 53]----- 172
- Слика 63.** Ефекат распореда слојева арматурних мрежа на понашање композита при савијању и степен ефикасности;  $N$  је број слојева мреже и  $d$  је дебљина композита. [Извор: R.P. Pama, C. Sutharatnachaiyarorn, and S.L. Lee „Rigidities and Strength of Ferrocement“, in *Proceedings of the First Australian Conference on Engineering Materials*, 287-308 (Sydney: University of New South Wales, 1974). Quoted in ACI Committee 549, *State-of-the-Art Report on Ferrocement, ACI 549R-97* (Farmington Hills: American Concrete Institute, 1997), 10] ----- 175
- Слика 64.** Дијаграм дилатација и поједностављени дијаграм напона попречног пресека елемента од фероцемента оптерећеног на савијање. [Извор: Комисија за стандарде из области Бетонских конструкција, *Tehnička preporuka za ferrocement: Ferrocement - Pravila za projektovanje, izvođenje i održavanje* (Београд: Savezni zavod za standardizaciju, 2002), 14] ----- 176
- Слика 65.** Анупама Кунду, фероцементна наборана структура - прототип „Light Matters“, Индија, 2013. [Преузето са <http://cusp-design.com/designer/anupama-kundoo/>, 12.3.2012.]----- 183
- Слика 66.** Истраживачки центар Ауровил, фероцементна љуска ојачана ребрима. [Преузето са <http://www.auroville.org/>, 19.3.2012.]----- 183
- Слика 67.** Феликс Кандела, ресторан „Los Manantiales“, Кочимилко, Мексико, 1958. [Преузето са <http://dating-au.com/concrete-shells/>, 23.4.2012.]----- 187
- Слика 68.** Модел фероцементних љуски и модел ивичних бетонских греда. [Извор: F. Alami, A. Djausal, and A. Yajid, „Dynamic analysis of ferrocement regunana zoo after 24 years of service“, in *Ferro-9 - Proceeding of the 9<sup>th</sup> International Symposium on Ferrocement and Thin Reinforced Cement Composites: Green Technology for Housing and Infrastructure Construction* (Bandar Lampung: The University of Lampung, 2009), 167] ----- 193
- Слика 69.** Фероцементне секундарне кровне плоче. [Извор: ACI Committee 549, *State-of-the-Art Report on Ferrocement, ACI 549R-97* (Farmington Hills: American Concrete Institute, 1997), 21],----- 202
- Слика 70.** Фероцементни елементи за заштиту од сунца. [Преузето са <http://www.eng.nus.edu.sg/civil/research/CAMS/CAMS-research.html>, 29.4.2012.]----- 202

<b>Слика 71.</b> Фероцементни префабриковани степеници. [Преузето са <a href="http://www.milinkovicco.com/galerija/galerija_stepenista.html">http://www.milinkovicco.com/galerija/galerija_stepenista.html</a> , 3.5.2012.]-----	203
<b>Слика 72.</b> Стубови и гредни носачи од фероцемента. [Извор: НИИЖБ, <i>Пособие по проектированию армоцементных конструкций</i> (к СНиП 2.03.03-85) (Москва: Стройиздат, 1989)]-----	203
<b>Слика 73.</b> Фероцементни елементи за формирање међуспратних и кровних конструкција. [Преузето са <a href="http://www.earth-auroville.com/multi_hazard_resistant_shelter_en.php">http://www.earth-auroville.com/multi_hazard_resistant_shelter_en.php</a> , 22.5.2012.]-----	204
<b>Слика 74.</b> TARA фероцементни елементи. [Преузето са <a href="http://taramachines.com/TARA-GreenCastChannel.aspx">http://taramachines.com/TARA-GreenCastChannel.aspx</a> , 25.5.2012.]-----	204
<b>Слика 75.</b> Стамбена зграда изведена применом фероцементних префабрикованих панела, Куба. [Преузето са <a href="http://www.asocem.org.pe/web/_actual_int/Cuba.pdf">http://www.asocem.org.pe/web/_actual_int/Cuba.pdf</a> , 8.1.2013.]-----	205
<b>Слика 76.</b> Систем префабрикованих фероцементних зидних панела „Cementos Bio Bio“, монтажа, аксонометријски приказ конструктивног склопа, пресек кроз панеле и армирано бетонски стубац изливен на лицу места. [Преузето са <a href="http://www.plataformaarquitectura.cl/product/ferrocemento-viviendas-industrializadas-definitivas-en-hormigon-cementos-bio-bio/">http://www.plataformaarquitectura.cl/product/ferrocemento-viviendas-industrializadas-definitivas-en-hormigon-cementos-bio-bio/</a> , 10.1.2013.]-----	205
<b>Слика 77.</b> Монтирање префабрикованих троугаоних сендвич панела на привремене скеле и увезивање мрежа испуштених из панела. [Преузето са <a href="http://www.aidomes.com/construction-overview/27/article">http://www.aidomes.com/construction-overview/27/article</a> , 14.10.2012.]-----	206
<b>Слика 78.</b> Механизована производња фероцементних љуски, СССР. [Преузето са <a href="http://3.bp.blogspot.com/_REW5h1F5sv8/TN0QM7eacFI/AAAAAAAAAKZE/I_qnISgtS84/s1600/27.jpg">http://3.bp.blogspot.com/_REW5h1F5sv8/TN0QM7eacFI/AAAAAAAAAKZE/I_qnISgtS84/s1600/27.jpg</a> , 2.10.2012.]-----	207
<b>Слика 79.</b> Фероцементна љуска са двоструком кривином. [Извор: Н. Rile, <i>Prostorne krovne konstrukcije</i> (Београд: Грађевинска књига, 1977), 233]-----	208
<b>Слика 80.</b> Наборана фероцементна љуска типа Грани. [Извор: Н. Rile, <i>Prostorne krovne konstrukcije</i> (Београд: Грађевинска књига, 1977), 233]-----	208
<b>Слика 81.</b> Наборана фероцементна љуска типа Бабочка. [Извор: Н. Rile, <i>Prostorne krovne konstrukcije</i> (Београд: Грађевинска књига, 1977), 234]-----	209
<b>Слика 82.</b> Фероцементна наборана кровна љуска, коритастог облика. [Извор: Н. Rile, <i>Prostorne krovne konstrukcije</i> (Београд: Грађевинска књига, 1977), 230 и 235]-----	209
<b>Слика 83.</b> Двоталасна фероцементна љуска са равним лежиштем. [Извор: Н. Rile, <i>Prostorne krovne konstrukcije</i> (Београд: Грађевинска књига, 1977), 235]-----	210
<b>Слика 84.</b> Лучна конструкција од набораних фероцементних елемената, вешалки и затеге. [Извор: Н. Rile, <i>Prostorne krovne konstrukcije</i> (Београд: Грађевинска књига, 1977), 236]-----	210

<b>Слика 85.</b> Заварени наставак лучне конструкције. [Извор: Н. Rile, <i>Prostorne krovne kostrukcije</i> (Beograd: Građevinska knjiga, 1977), 232] -----	210
<b>Слика 86.</b> Лучна конструкција од набораних фероцементних елемената, вешалки и затеге. [Извор: Н. Rile, <i>Prostorne krovne kostrukcije</i> (Beograd: Građevinska knjiga, 1977), 237] -----	211
<b>Слика 87.</b> Шема армирања набораног фероцементног елемента. [Извор: Н. Rile, <i>Prostorne krovne kostrukcije</i> (Beograd: Građevinska knjiga, 1977), 237]-----	211
<b>Слика 88.</b> Лучна конструкција од таласастих фероцементних елемената, Румунија. [Извор: Н. Rile, <i>Prostorne krovne kostrukcije</i> (Beograd: Građevinska knjiga, 1977), 238] -----	212
<b>Слика 89.</b> Наборана фероцементна љуска, вађење из калуца. [Извор: Н. Rile, <i>Prostorne krovne kostrukcije</i> (Beograd: Građevinska knjiga, 1977), 234]-----	212
<b>Слика 90.</b> Пјер Луиђи Нерви, Складиште, „La Magliana“, 1945., фасада. [Извор: С. Greco, „The “Ferro-cemento” of Pier Luigi Nervi - The New Material and the First Experimental Building“, in <i>Proceedings of the IASS International symposium - Spatial Structures: Heritage, Present and Future</i> , ed. G.C. Giuliani, (SGEditoriali, 1995), 313] -----	213
<b>Слика 91.</b> Тестирање фероцементне плоче током изградње складишта. [Извор: С. Greco, „The “Ferro-cemento” of Pier Luigi Nervi - The New Material and the First Experimental Building“, in <i>Proceedings of the IASS International symposium - Spatial Structures: Heritage, Present and Future</i> , ed. G.C. Giuliani, (SGEditoriali, 1995), 311] -----	213
<b>Слика 92.</b> Попречни пресек коро зидове складишта. [Извор: С. Greco, „The “Ferro-cemento” of Pier Luigi Nervi - The New Material and the First Experimental Building“, in <i>Proceedings of the IASS International symposium - Spatial Structures: Heritage, Present and Future</i> , ed. G.C. Giuliani, (SGEditoriali, 1995), 315]-----	214
<b>Слика 93.</b> Пјер Луиђи Нерви, Складиште, „La Magliana“, 1945., фасада, ентеријер. [Преузето са <a href="http://www.nervi-film.com/buildings.html">http://www.nervi-film.com/buildings.html</a> , 16.5.2012.]-----	214
<b>Слика 94.</b> Милинковић, Кућа у винограду, 1981. [Преузето са <a href="http://www.milinkovicco.com/preuzimanje_fajlova/slike/ostali_objekti/1.jpg">http://www.milinkovicco.com/preuzimanje_fajlova/slike/ostali_objekti/1.jpg</a> , 2.6.2012.] -----	215
<b>Слика 95.</b> Б.В. Доши, Хусеин Доши Гуфа, Ахмедабад, Индија, 1993., изградња, фасада. [Преузето са <a href="http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2003-2/argamassa_armada/obras_5.htm">http://www.arq.ufsc.br/arq5661/trabalhos_2003-2/argamassa_armada/obras_5.htm</a>	215
<b>Слика 96.</b> Б.В. Доши, Хусеин Доши Гуфа, Ахмедабад, Индија, 1993., основа, ентеријер. [Преузето са <a href="http://arkistudentscorner.blogspot.com/2011/06/hussain-doshi-gufa-ahmedabad.html">http://arkistudentscorner.blogspot.com/2011/06/hussain-doshi-gufa-ahmedabad.html</a> , 10.6.2012.; <a href="http://dkfawad.blogspot.com/2010/05/initial-inspirations.html">http://dkfawad.blogspot.com/2010/05/initial-inspirations.html</a> , 10.6.2012.]-----	216
<b>Слика 97.</b> Национални политехнички институт у Мексику, Прототипови објеката. [Преузето са <a href="http://noticias.universia.net.mx/vida-universitaria/noticia/2005/11/25/80749/venga-huracan.html">http://noticias.universia.net.mx/vida-universitaria/noticia/2005/11/25/80749/venga-huracan.html</a> , 18.6.2012.] -----	216

- Слика 98.** Аудиторијум Националног политехничког института (CIIIDIR), Оаксака, Мексико. [Преузето са <http://www.ciidiroaxaca.ipn.mx/maestria/?q=node/47>, 23.6.2012.]-----217
- Слика 99.** Хесус Санчез Лукењо, Библиотека Високе техничке школе, Хуајуапан де Леон, Оаксака, Мексико, изградња, фасада. [Преузето са <http://www.arquimaster.com.ar/galeria/obra77.htm>, 3.7.2012.] -----218
- Слика 100.** Милинковић, Соларна кућа, Бољевци, изградња, фасада. [Преузето са [http://www.milinkovicco.com/preuzimanje\\_fajlova/download/Predavanje\\_Solarna\\_Kuca.pdf](http://www.milinkovicco.com/preuzimanje_fajlova/download/Predavanje_Solarna_Kuca.pdf), 12.7.2012.] -----218
- Слика 101.** Двострука фероцементна љуска као део система за управљање токовима топлоте. [Преузето са <http://www.pasivnakuca.rs/images/stories/primeri/srbija/boljevac/02.jpg>, 12.7.2012.] -----218
- Слика 102.** Милинковић, Складишна хала, Бољевци, 1999., фасада. [Преузето са [http://www.milinkovicco.com/preuzimanje\\_fajlova/slike/ostali\\_objekti/5.jpg](http://www.milinkovicco.com/preuzimanje_fajlova/slike/ostali_objekti/5.jpg), 15.7.2012.]-----220
- Слика 103.** Милинковић, Складишна хала, Бољевци, 1999., ентеријер. [Преузето са [http://www.milinkovicco.com/preuzimanje\\_fajlova/slike/ostali\\_objekti/6.jpg](http://www.milinkovicco.com/preuzimanje_fajlova/slike/ostali_objekti/6.jpg), 15.7.2012.]-----220
- Слика 104.** Фероцементне кровне љуске у форми крстатог свода. [Преузето са <http://annesley.wordpress.com/vaulted-dome-roof-project/>, 19.7.2012.] -----220
- Слика 105.** Анти Ловаг, „Le Palais Bulles“, Теул Сур Мер, Француска, 1984., извођење, фасада, ентеријер. [Преузето са <http://laboratoireurbanismeinsurrectionnel.blogspot.com/2011/10/antti-lovag-architecte-anti-conformiste.html> и <http://bunnydell.tumblr.com/page/7>, 15.8.2012.] -----221
- Слика 106.** Хавиер Сенсиаин, Органска кућа, Наункаплан, Мексико, 1985., идејна скица, изградња, “кров”, ентеријер. [Преузето са <http://www.arquitecturaorganica.com/casa-orgaacutenica.html>, 20.8.2012.] -----222
- Слика 107.** Хавиер Сенсиаин, Ајкула, Мексико, 1990., фасада, ентеријер. [Преузето са <http://www.arquitecturaorganica.com/el-tiburoacuten.html>, 22.8.2012.] -----222
- Слика 108.** Хавиер Сенсиаин, Кикирики, Мексико, 1990., изградња. [Преузето са <http://www.arquitecturaorganica.com/el-cacahuate.html>, 23.8.2012.]-----223
- Слика 109.** Хавиер Сенсиаин, Наутилус, Мексико, 2007., пресек, изградња. [Преузето са <http://www.arquitecturaorganica.com/nautilus.html>, 24.8.2012.] -----223
- Слика 110.** Хавиер Сенсиаин, Кецалкоатлово гнездо, Мексико, 2007., изградња, фасада, ентеријер. [Преузето са <http://www.arquitecturaorganica.com/nido-de-quetzalcoatl.html>, 24.8.2012.] -----224
- Слика 111.** Марио Москосо, Кућа живота. [Преузето са <http://www.moscosoarquitectura.com.bo/>, 1.9.2012.]-----224

- Слика 112.** Питер Веч, Earth House, Диетикон, Швајцарска, фасада. [Преузето са <http://www.homedit.com/earth-house-by-peter-vetsch/> i <http://www.tourisontheedge.com/culture/peter-vetsch-earth-homes-reminders-of-gaudis-architecture.html>, 12.9.2012.]-----225
- Слика 113.** Ентеријери кућа реализованих применом фероцемента у самоградњи. [Преузето са <http://www.flyingconcrete.com/>, 17.9.2012.]-----225
- Слика 114.** Систем двоструких фероцементних љуски са интегралном оплатом (систем СОТА™). [Преузето са <http://www.opalubka-info.ru/technology-intro.html>, 4.1.2013.]-----227
- Слика 115.** Пјер Луиђи Нерви, Централна хала изложбеног комплекса, Торино, 1948., ентеријер. [Преузето са [http://urbanthinker.com/wp-content/uploads/2012/05/4\\_NerviTurinExpo1948.jpg](http://urbanthinker.com/wp-content/uploads/2012/05/4_NerviTurinExpo1948.jpg), 19.10.2012.; <http://www.worldarchitecturemap.org/buildings/agnelli-exhibition-hall>, 19.10.2012.]-----229
- Слика 116.** Елементи лука централне хале изложбеног комплекса у Торину. 1- армирани бетон ливен на лицу места; 2- префабриковани елемент од фероцемента; 3- попречна дијафрагма префабрикованих фероцементних елемената; 4- арматура у оквиру армиранобетонског ребра ливеног на лицу места. [Извор: Н. Rile, *Prostorne krovne konstrukcije* (Београд: Грађевинска књига, 1977), 230]-----229
- Слика 117.** Пјер Луиђи Нерви, Мала Хала спортова, Рим, 1957., ентеријер. [Извор: М.А. Chiorino, „Art and Science of Building in Concrete: The Work of Pier Luigi Nervi“, *Concrete International*, march 2012, 36]-----231
- Слика 118.** Пјер Луиђи Нерви, Мала Хала спортова, Рим, 1957., ентеријер. [Преузето са <http://flickrhivemind.net/Tags/nervi,roma/Timeline>, 28.10.2012.]-----231
- Слика 119.** Хопкинс Аритекти, Шлумбергер Кембриџ [Извор: D. Walker, Н. Edmund, А. William, *Happold: The Confidence to Build* (Happold Trust Publications Limited, 1997)]-----233
- Слика 120.** Грађење хале у МС систему градње. [Преузето са [http://www.milinkovicco.com/preuzimanje\\_fajlova/slike/hale/izgradnja/7.jpg](http://www.milinkovicco.com/preuzimanje_fajlova/slike/hale/izgradnja/7.jpg), 4.11.2012.]-----233
- Слика 121.** Спортска хала у Сталаћу изведена применом МС система градње, ентеријер [Преузето са [http://www.milinkovicco.com/preuzimanje\\_fajlova/slike/hale/enterijer/3.jpg](http://www.milinkovicco.com/preuzimanje_fajlova/slike/hale/enterijer/3.jpg), 4.11.2012.]-----233
- Слика 122.** Наборана кровна конструкција формирана као композитни склоп. [Преузето са <http://yucatan.com.mx/multimedia/valladolid-se-une-en-un-sueno-2-galeri>, 8.11.2012.]-----235
- Слика 123.** Објект у Am-cog систему, у фази градње. [Преузето са <http://www.am-cog.com/galleries/gallery/construction/>, 16.11.2012.]-----236
- Слика 124.** Хиперболичне фероцементне љуске у фази градње, Менара Сигер, Лампунг, Индонезија,-----239

- Слика 125.** Аншори Џозел, Менара Сигер, Лампунг, Индонезија, 2005., фасада. [Преузето са <http://rri.co.id/index.php/berita/59647/Pemprov-Lampung-Targetkan-Menara-Siger-Selesai->, 18.3.2013.] -----239
- Слика 126.** Ренцо Пиано, Музеј Менил, Хјустон, Тексас, 1987., попречни пресек кроз композитне елементе кровне конструкције. [Извор: Chris Abel, *Architecture, Technology and Process* (Routledge, 2004), 74]-----240
- Слика 127.** Ренцо Пиано, Музеј Менил, Хјустон, Тексас, 1987., ентеријер. [Преузето са <http://www.architectmagazine.com/lighting/art-plus-light.aspx>, 16.1.2013.] -----240
- Слика 128.** Композитни носећи елементи од фероцемента и ливеног гвожђа. [Извор: Chris Abel, *Architecture, Technology and Process* (Routledge, 2004), 74] -----241
- Слика 129.** Систем металне интегрисане оплате. [Извор: Решења за енергетску ефикасност - Системи ефикасне градње (Lafarge, 2013), 20 и 21]-----242
- Слика 130.** Мартин Бехтхолд, Предлог за извођење композитних троугаоних сегмената. [Извор: Martin Bechthold, „Surface structures in the digital age: Studies in ferrocement“, in *Material Matters: Architecture and Material Practice*, ed. Katie Lloyd Thomas (Routledge, 2007), 148]-----243
- Слика 131.** Попречни пресек кроз композитну љуску. [Извор: Martin Bechthold, „Surface Structures: Digital Design and Fabrication“, *ACADIA: Structures*, 2004, 96]-----243
- Слика 132.** Објекат у оквиру манастира Хиландар, Света Гора, Грчка, извођење радова на ојачавању зидане конструкције применом слоја фероцемента, карактеристични слојеви ојачаног зида. [Извор: Фотографије из архиве аутора проф. др Ненада Шекуларца, пројектанта конструкција у оквиру пројекта обнове комплекса манастира Хиландар] -----245



## ПОПИС ТАБЕЛА

<b>Табела 1</b> - Критеријум заштите животне средине током животног циклуса зграде – индикатори [Извор: Табела аутора]-----	27
<b>Табела 2</b> - Критеријум социјалних добробити за кориснике током фазе употребе зграде – индикатори [Извор: Табела аутора]-----	33
<b>Табела 3</b> - Трајање појединачних фаза у животног циклусу зграде [Извор: М. Radojević, М. Devetaković, и Т. Кошић, „FM - професија будућности“, AG Magazin, 2005, 25] -----	36
<b>Табела 4</b> - Критеријум економских добробити за кориснике током фазе употребе зграде – индикатори [Извор: Табела аутора]-----	39
<b>Табела 5</b> - Пример појединих вишеструких ефеката примене боје у згради [Извор: Т. Lützkendorf and А. Immendoerfer, SuPerBuildings WP 4.1 - Concept and Framework Final Report, 2010, 31]-----	40
<b>Табела 6</b> - Критеријуми за интегрисано пројектовање и вредновање конструкција зграда у оквиру критеријума заштите животне средине током животног циклуса зграде [Извор: Табела аутора]-----	77
<b>Табела 7</b> - Категоризација објеката с обзиром на употребни век конструкције према EN 1990: 2002 [Извор: EN 1990: 2002, Evrokod 0: Osnove proračuna konstrukcija, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2002, 87]-----	100
<b>Табела 8</b> - Критеријуми за интегрисано пројектовање и вредновање конструкција зграда у оквиру критеријума социјалних добробити за кориснике током фазе употребе зграде [Извор: Табела аутора]-----	134
<b>Табела 9</b> - Уобичајени типови и величине челичних мрежа коришћених у фероцементу [Извор: А.Е. Naaman, Ferrocement and Laminated Cementitious Composites (Ann Arbor: Techno Press 3000, 2000), 19]-----	145
<b>Табела 10</b> - Препоруке за конститутивне материјале и особине фероцемента [Извор: А.Е. Naaman, Ferrocement and Laminated Cementitious Composites (Ann Arbor: Techno Press 3000, 2000), 16] -----	150
<b>Табела 11</b> - Вредности напона течења и ефективних модула за челичне мреже и шипке [Извор: А.Е. Naaman, Ferrocement and Laminated Cementitious Composites (Ann Arbor: Techno Press 3000, 2000), 206]-----	160
<b>Табела 12</b> - Фактори ефикасности за поједине типове челичних мрежа [Извор: А.Е. Naaman, Ferrocement and Laminated Cementitious Composites (Ann Arbor: Techno Press 3000, 2000), 206]-----	160

## БИОГРАФИЈА АУТОРА

Мр Александра Ненадовић је рођена 1971. године у Београду. У Природно-математичкој школи "Михајло Пупин" у Београду је стекла средњошколско образовање и звање лабораторијског техничара за општу физику. Студије архитектуре је уписала 1989. године на Архитектонском факултету Универзитета у Београду. Током студија похађала је изборну групу предмета "Конструктивни системи". Дипломирала је 1996. године, са оценом 10 на дипломском раду и просечном оценом 8,82 у току студија.

Уписала је последипломске магистарске студије на Архитектонском факултету Универзитета у Београду, 1996. године, на курсу "Конструктивни системи у архитектури". Просечна оцена током последипломских студија је 9,66. Магистарску тезу под насловом "Прилог анализи понашања кабловских купола тенсегрити типа" одбранила је 2004. године и стекла академски назив Магистра техничких наука у области архитектуре и урбанизма.

Од 1996. године запослена је на Архитектонском факултету Универзитета у Београду, на Катедри за статику конструкција, односно на Департману за архитектонске технологије. Поред педагошког рада и активног учешћа у унапређењу наставног процеса, Александра Ненадовић се бави научно-истраживачким и стручним радом у области архитектуре и урбанизма, укључујући и област архитектонског конструкторства. Активно учествује у два пројекта из програма основних истраживања и два пројекта у области технолошког развоја. Аутор је научних радова објављених у монографијама, зборницима и научним часописима. Перманентно се стручно усавршава у оквиру области архитектонског пројектовања и архитектонског конструкторства, кроз израду бројних стручно-уметничких и стручних радова. Положила је стручни испит пред комисијом за архитектонску струку, 2006. године. Као члан ауторских тимова, добитник је више награда на архитектонско-урбанистичким конкурсима. Аутор је бројних архитектонских идејних решења, идејних и главних пројеката, решења ентеријера и пројеката конструкција. Одређени број наведених решења је изведен, излаган на изложбама и публикован.

Прилог 1.

## ИЗЈАВА О АУТОРСТВУ

Потписани-а мр Александра Ненадовић

број индекса \_\_\_\_\_

Изјављујем

да је докторска дисертација под насловом

**"Интегрисано пројектовање конструктивних система заснованих на примени  
фероцемента"**

- 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 докторанда**

У Београду, 11.01.2014.



Прилог 2.

**ИЗЈАВА О ИСТОВЕТНОСТИ ШТАМПАНЕ И ЕЛЕКТРОНСКЕ ВЕРЗИЈЕ  
ДОКТОРСКОГ РАДА**

Име и презиме аутора	мр Александра Ненадовић
Број индекса	_____
Студијски програм	_____
Наслов рада	<b>"Интегрисано пројектовање конструктивних система заснованих на примени фероцемента"</b>
Ментор	др Милан Глишић, редовни професор
Потписани/а	мр Александра Ненадовић

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 докторанда**

У Београду, 11.01.2014.



Прилог 3.

### **ИЗЈАВА О КОРИШЋЕЊУ**

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

**"Интегрисано пројектовање конструктивних система заснованих на примени фeroцементa"**

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.

1. Ауторство
2. Ауторство - некомерцијално
3. Ауторство – некомерцијално – без прераде
4. Ауторство – некомерцијално – делити под истим условима
5. Ауторство – без прераде
6. Ауторство – делити под истим условима

**Потпис докторанда**

У Београду, 11.01.2014.

