

Енергетска оптимизација  
зграда у контексту  
одрживе архитектуре

6.95%

1940

део 2

Могућности унапређења  
енергетских карактеристика  
грађевинског фонда

1945

11.7%

1950

25.07%

1960

1967

1970

13.04%

1970

Архитектонски факултет  
Универзитета у Београду



Научно истраживачки пројекат:

**ЕНЕРГЕТСКА ОПТИМИЗАЦИЈА ЗГРАДА У КОНТЕКСТУ  
ОДРЖИВЕ АРХИТЕКТУРЕ**

**Део 2**

**МОГУЋНОСТИ УНАПРЕЂЕЊА ЕНЕРГЕТСКИХ  
КАРАКТЕРИСТИКА ГРАЂЕВИНСКОГ ФОНДА**

Руководиоц пројекта: Др Милица Јовановић Поповић,  
дипл.инж. арх

Радни тим: Др Милица Јовановић Поповић,  
дипл.инж. арх  
Др Мирјана Михајловић Ристивојевић,  
дипл.инж. арх.  
Др Александра Крстић, дипл. инж. арх.  
Др Ана Радивојевић, дипл. инж. арх.  
Др Гордана Ћосић, дипл.инж.арх.  
Др Лидија Ћокић, дипл. инж. арх.  
Мр Милица Пејановић, дипл. инж. арх.  
Душан Игњатовић, дипл. инж. арх.  
Љиљана Ђукановић, дипл. инж. арх.  
Наташа Ђуковић Игњатовић,  
дипл. инж. арх.  
Ана Богданов, дипл. инж. арх.

Рецензент: Др Мила Пуцар, дипл. инж. арх.

Издавач: Архитектонски факултет Универзитета у  
Београду  
Булевар краља Александра 73/ 2

Корице: Наташа Д. Ђуковић Игњатовић, диа

Тираж: 200 примерака

ISBN 86-80095-74-5

Штампа: Чигоја штампа, Београд

Место и година  
издавања: Београд 2005. године

Научно истраживачки пројекат:

**ЕНЕРГЕТСКА ОПТИМИЗАЦИЈА ЗГРАДА У КОНТЕКСТУ  
ОДРЖИВЕ АРХИТЕКТУРЕ**

**ФАЗА 2**

**МОГУЋНОСТИ УНАПРЕЂЕЊА  
ЕНЕРГЕТСКИХ  
КАРАКТЕРИСТИКА  
ГРАЂЕВИНСКОГ ФОНДА**

**Београд 2005.**

## ПРЕДГОВОР

У оквиру програма научних пројеката из области технолошког развоја финансираних од стране Министарства за науку и технологију Републике Србије, Архитектонски факултет Универзитета у Београду ради на научно истраживачком пројекту *Енергетска оптимизација зграда у контексту одрживе архитектуре*.

Оквир истраживања је одрживи развој и архитектура као његов интегрални део, као једини ресурс који бележи стални раст али уједно и област у којој се у развијеним земљама троши 50% укупно произведене енергије.

Циљ пројекта је да се кроз анализу стања постојећег грађевинског фонда као и анализу регулативе из области термичке заштите објеката сагледају могућности његовог унапређења у погледу побољшања услова комфора корисника уз истовремено смањење потрошње енергије, односно побољшања енергетске ефикасности зграда.

Пројекат се одвија у три фазе, током три године, па ће и резултати бити публиковани сукцесивно, у три монографије. Након првог дела, *Анализе структуре грађевинског фонда*, пред читаоцима и научном и стручном јавношћу је сада и други део: *Могућности унапређења енергетских карактеристика грађевинског фонда*, као резултат истраживања током друге године трајања пројекта. У овој монографији публиковани су резултати анализе и могућности унапређења, у оквиру постојећих ограничења, оног дела грађевинског фонда који представља његов већински део а уједно и по својим карактеристикама пружа највеће могућности за уштеду енергије и значајно побољшање енергетске ефикасности (стамбене зграде изграђене у периоду 1946.-1967. године).

Руководилац истраживања

Проф.др Милица Јовановић Поповић

## САДРЖАЈ

<b>Анализа ограничења у контексту могућих нивоа енергетске оптимизације</b> .....	1
Планска и имовинска ограничења .....	5
Ограничења проистекла из типолошких карактеристика објеката .....	10
Ограничења локације .....	14
<b>Анализа могућности унапређења елемената омотача и система</b> .....	25
Анализа могућности унапређења прозора и застора у циљу добијања енергетски рационалног објекта .....	27
Анализа могућности унапређења зидова и конструкције омотача .....	45
Комунална и инфраструктурна опремљеност .....	57
Истраживање материјала за енергетску рационализацију објекта на принципима оцене животног циклуса материјала .....	65
Анализа могућности унапређења елемената омотача – унапређење равних кровова без промене волумена објекта .....	87
<b>Могућности унапређења енергетских карактеристика објекта променом волумена</b> .....	97
Унапређење равних кровова са променом волумена објекта .....	99

Мoгућности доградње у попречном и подужном правцу .....	115
Мoгућност унапређења енергетских карактеристика објеката применом соларних система .....	133
<b>Провера економских параметара реконструкције .....</b>	<b>151</b>
Техноекономска анализа доградње постојећих стамбених објеката .....	153
<b>Методологија поступка енергетске оптимизације зграда .....</b>	<b>165</b>
Формирање алгоритма поступка енергетске оптимизације .....	167
<b>Литература .....</b>	<b>181</b>

**Анализа могућности  
унапређења елемената омотача  
и система**

Мирјана Михајловић-Ристивојевић  
Ана Радивојевић

## **Истраживање материјала за енергетску рационализацију објеката на принципима оцене животног циклуса материјала**

### **Увод**

Савремено друштво и његов брзи развој донели су са собом потребу за преиспитивањем односа човека према својој околини и наслеђу које за собом оставља. Суочавање са лимитираношћу ресурса које користимо као и последицама које је развој нових технологија са собом донео, пробудили су нова размишљања, у почетку усмерена у правцу рационализације и оптимизације коришћења енергије, да би се са даљим развојем еколошке свести човека она данас најсвеобухватније изражавала у идеји о одрживом развоју. Овај својеврсни глобални манифест савременог друштва донео је са собом нови поглед на свет, спрежући у јединствени циклус све наше активности, пре свега у односу на последице које оне могу имати по околину и даље по будућност наших потомака.

Како се основни проблем истраживања под чијом капом се разматрају и карактеристике материјала за потребе енергетске рационализације објеката дословно заснива на

проблему енергетске оптимизације у светлу одрживог развоја, питање самог одабира материјала постаје значајно по два основа. Први основ произилази из чињенице да у развијеним земљама света значајан удео у укупној потрошњи енергије (око 30%) одлази на грађевински фонд, па се, последично, енергетска оптимизација грађевина може сматрати преком потребом ових, али и других заједница. При томе се има у виду чињеница да се сама енергетска оптимизација зграда у највећој мери остварује унапређењем карактеристика омотача објекта, а то се управо постиже облагањем новим материјалима одговарајућих термичких карактеристика.<sup>1</sup>

Са друге стране, доктрина одрживог развоја је условила потребу да се људско деловање и резултати ових активности данас сагледавају у знатно ширим оквирима и на много комплекснији начин. То би пак значило да избор материјала којим би се допринело енергетској оптимизацији и рационализацији неког објекта не подлеже само разматрању и анализи у контексту његових енергетских перформанси, већ се као значајан фактор у процесу одлучивања разматрају и аспекти проистекли из концепта одрживог развоја. Они се, у случају самих материјала, пре свега односе на процену њиховог животног циклуса.

Овако постављен проблем изискује неколико корака у поступку решавања. Први корак подразумева дефинисање начина, односно методологије помоћу које би се приступило решавању овако комплексног проблема. То би, са једне стране изискивало да се установи генерални принцип, односно начело које би најбоље одговорило постављеном сложеном задатку, за шта би се одговор могао наћи у начелима стандарда перформанси. Са друге стране, постоји потреба да се дефинишу, а потом и укључе у конкретно испитивање, они захтеви који би произашли из еколошке исправности материјала током свог животног циклуса. С обзиром на њихову независну комплексност, прикључивање захтева из домена екологије укупним захтевима перформанси, изискивало би претходно преиспитивање могућности њихове практичне примене, односно, проналажење алтернативних приступа којим би се проблем интеракције примењених материјала са околином током времена могао да разматра на једноставнији начин.

Следећи корак би се састојао у сагледавању релевантних карактеристика одабраног репрезентативног узорка који се у овој фази истраживања детаљно разматра и анализира. У овом кораку би се, у складу са претходно дефинисаним сетом

захтева, превасходно установиле енергетске, односно термичке перформансе конкретног узорка, и, у складу са тим, размотриле варијанте могућих додатних слојева чијом би применом енергетска оптимизација била спроведена.

Последњи корак у датом циклусу истраживања би подразумевао независно преиспитивање предложених варијанти у односу на придружене еколошке захтеве проистекле из животног циклуса материјала, односно њему сродног принципа.

Питање које се након овако спроведеног истраживања може поставити, односило би се на везу и евентуално условљавање или ограничавање које би нови захтеви из области еколошке исправности могли да донесу у погледу могућности и начина примене материјала које користимо у поступку енергетске оптимизације. Ово се уједно може сматрати и крајњим циљем овог рада.

### **Концепт перформанси као методолошки принцип у поступку одабира материјала за потребе енергетске оптимизације зграда**

Начин на који се интензиван развој науке и технологије манифестовао на пољу грађевинарства, огледао се у непрестаним иновацијама у домену проналажења нових врста, начина и могућности примене материјала. Брзи темпо развоја је, такође, неретко са собом доносио и проблеме који су настајали као последица недовољног познавања понашања материјала током експлоатације, што је шездесетих година 20. века подстакло актере у процесу грађења да почну да размишљају о проблемима са којима су се суочавали на до тада нов начин.

Новина се огледала у томе што се решење за све сложеније и бројније захтеве који су током времена настајали, почело превасходно да тражи по принципу сагледавања начина на који би дефинисани захтеви могли бити задовољени. То је значило да је примарно пажња усмеравана на дефинисање циља који се неком грађевином, односно материјалима и производима којима је она отелотворена, жели постићи, да би тек након тога била процењивана конкретна средства којима би дотична намера била остварена. При томе се дефинисање циља односи на дефинисање жељеног начина понашања материјала, (производа, или читавог објекта), или краће, дефинисање његове перформансе. Временом су овакви ставови прерасли у посебне стандарде - стандарде перформанси,<sup>2</sup> који се, с



обзиром на отвореност датог концепта, као и непрестано продубљивање наших сазнања, непрестано усавршавају и допуњавају.

У складу са доктрином концепта, тражене перформансе се разматрају у односу на одговарајуће факторе који се могу разврстати у следеће четири категорије утицаја, односно из њих произашлих захтева:

1. захтеве корисника,
2. захтеве произашле из начина коришћења објеката и простора,
3. захтеве произашле из одговарајућег подсистема објекта у склопу којег се налази анализирани материјал односно производ, и
4. захтеви произашли из утицаја, различите природе или порекла, који могу деловати на анализирани материјал/производ/објекат, односно у одређеној мери условљавају тражену перформансу.

Иако наизглед сложен и компликован, примењен у пракси, концепт перформанси омогућава да и најсложенији проблеми који се могу јавити приликом избора материјала или производа, или приликом конципирања неког архитектонског објекта, буду свеобухватно сагледани узимајући у обзир сва актуелна знања, захтеве и потребе. При томе, имајућу у виду могућу бројност и сложеност постављених захтева, решење се не тражи у 'идеалном', већ у 'оптималном' одговору на утврђени систем захтева.

Велика предност оваквог концепта је његова отвореност која се огледа у томе што постоји могућност да се свака од установљених категорија захтева, а превасходно захтеви корисника, може проширити новим, специфичним, групама захтева, које се могу током времена појавити. Са друге стране, новонасталим потребама се може одговорити и на другачији начин - одговарајућом интерпретацијом и комбинацијом већ установљених категорија и група постојећих захтева, па концепт и на тај начин испољава адаптабилност и флексибилност.

Када се вратимо на почетни проблем који се овим радом разматра, а то је питање избора материјала којим би се постигла енергетска рационализација постојећих објеката, уз истовремено поштовање принципа одрживог развоја, онда се и енергетска оптимизација (у овом случају рационализација), и еколошка исправност материјала (као одговор материјала на потребе одрживог развоја), могу сматрати новим, изразито комплексним захтевима које савремено друштво поставља.

Како њихово испуњење не даје експлицитне и моменталне резултате, већ се они сагледавају кроз друге параметре као што су време, трајност и економски ефекти, интересантно је напоменути да се већ на примеру енергетске оптимизације показало да она у овом тренутку представља потребу и циљ развијених друштава на нивоу државе, али не и приоритетни интерес појединачних корисника.<sup>3</sup>

### ***Релевантни захтеви у служби енергетске оптимизације***

Одговор на потребе енергетске оптимизације могао би се наћи у адекватној спрези одговарајућих захтева већ дефинисаних стандардом перформанси (пре свега захтева за заптивеношћу, хигротермалних захтева, као и захтева за чистоћом ваздуха), односно, у њиховој усклађености са одговарајућим прописима којима су дотични захтеви дефинисани одговарајућом законском регулативом, пре свега прописима из области термичке заштите зграда. Треба рећи да се у великом броју земаља данас већ увелико разматра стање укупне енергетске перформансе објеката, што осим питања топлотне заштите зграда укључује и питање енергетске ефикасности свих инсталационих система у објекту, па се у том смислу усаглашавају и одговарајући прописи.

Међутим, када је реч о разматрању појединачних елемената омотача објеката чијим унапређењем се у највећој мери постиже сама енергетска оптимизација, проблем би поједностављено могао да се сведе на питање смањења трансмисионих губитака, односно на смањење коефицијента пролаза топлоте "U" чија је потребна вредност дефинисана одговарајућим прописом из области термичке заштите објеката.<sup>4</sup> Ако би се проблем са оваквог начелног разматрања пренео на реалне објекте, у зависности од конкретних климатских карактеристика окружења у којем се објекат налази, додатни захтев који би са овог становишта такође требало узети у разматрање односио би се на питање акумулативности топлотне енергије елемената омотача објекта. Не треба заборавити да питање могућности практичне примене различитих материјала у сврхе енергетске оптимизације отвара додатне захтеве, а пре свега питање одређених условљености које би произашле из самог поступка облагања зидова (постојећих или нових) термоизолационим материјалима, односно могућности и начина њихове завршне обраде.

### Еколошка исправност материјала и начини њене провере

За разлику од проблема избора материјала у циљу енергетског унапређења, односно оптимизације зграде, који се, како је показано, може интерпретирати кроз одговарајући сплет већ постојећих захтева, процена еколошке исправности материјала представља потпуно нови поглед на могућности примене неког материјала. Само питање еколошке исправности подразумева различите аспекте интеракције материјала са околином – карактер утицаја на животну средину, питање потрошње енергије, генерисања отпада, односно могућности његове рециклаже. При томе је потребно да се међусобни однос материјала и животне средине разматра у свим фазама постојања материјала – од добијања сировина, производње, преко примене, до коначног одлагања.

Иако је реч о схватању које је већ двадесетак година актуелно у свету, филозофски приступ који овакав начин размишљања има, као и сложеност аспеката и захтева које он са собом носи, разлог су што су могућности његове практичне примене још увек у повоју. Теоретски и практични алати којима би се питање одрживости, односно еколошке употребљивости и исправности могло да проверава се још увек развијају и проверавају. Стога и захтеви који би се односили на конкретне начине и услове примене, произашли из овог аспекта, тек треба да пронађу своје упориште и одговор у одговарајућим прописима и стандардима. Ипак, треба напоменути да у том смислу за сада постоји читав сет прописа из серије ISO 14000, који се баве теоријским и методолошким питањима тзв. еколошког управљања и заштите животне средине, као и зачетак даљих система прописа из серије ISO 15000, произашлих из претходног система, који су оријентисани на питања трајности, пре свега прогнозирања и планирања укупне трајности објекта.<sup>5</sup>

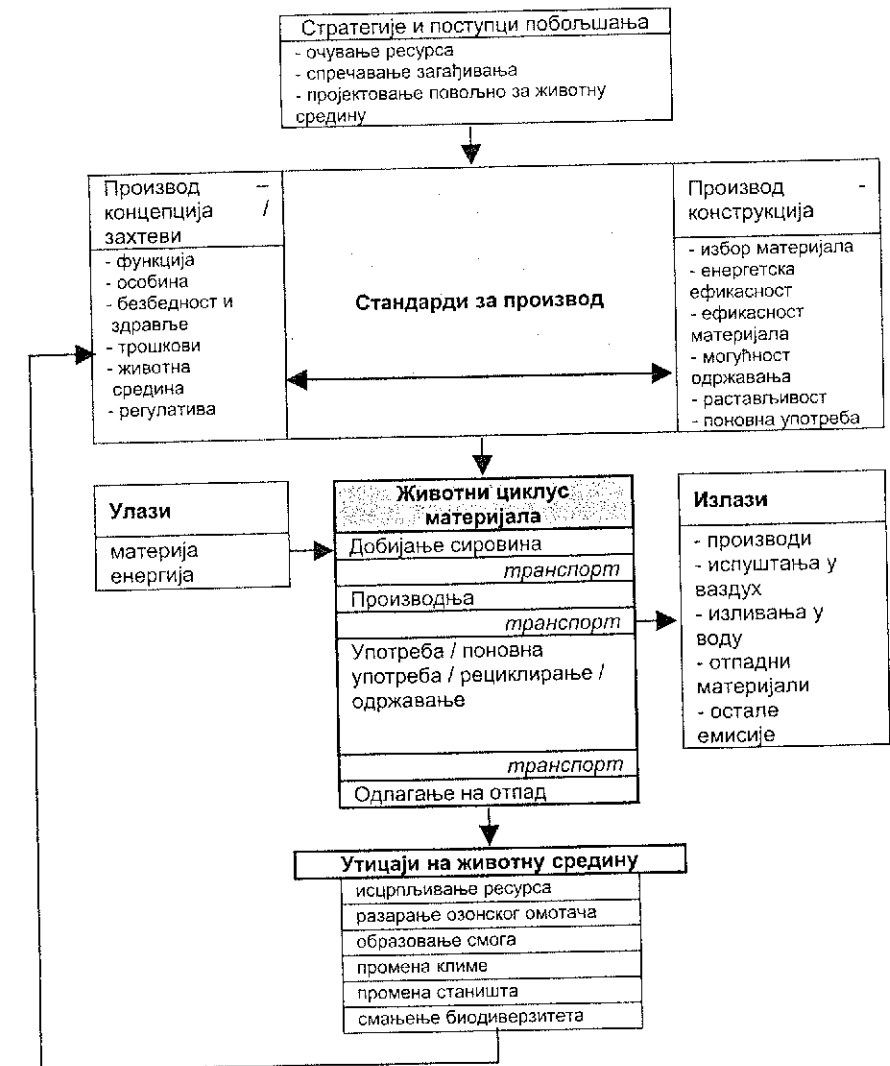
Из свега изнетог, еколошка исправност материјала и начин њене оцене изискују да буду посебно објашњени како би захтеви које она са собом носи могли да буду јасно дефинисани и практично примењени у жељеној евалуацији материјала.

### Оцена животног циклуса материјала (LCA)

Свеобухватни начин процењивања еколошке исправности материјала свакако представља метод оцене његовог животног циклуса. Према важећим стандардима из области еколошког управљања, појам животног циклуса материјала дефинише низ међусобно повезаних фаза система производа,

од добијања или генерисања природних ресурса до коначног одлагања. Исти стандарди дефинишу и појам 'оцене животног циклуса' (LCA)<sup>6</sup> као поступак прикупљања и вредновања животног циклуса који има за циљ разумевање и вредновање величине и значаја могућих утицаја система производа на животну средину.

Слика 1 Принципијелни односи између одредби (будућих) стандарда за производ и њиховог утицаја на животну средину у току животног циклуса<sup>7</sup>



Да бисмо могли да утврдимо утицаје које материјал током свог животног циклус има по своју околину, потребно је да претходно буду дефинисане карактеристике самог процеса. Оне су превасходно интересантне са аспекта промена које у свакој фази датог процеса претрпе улазне величине, материја и енергија, претварајући се у излазне величине, сам производ, али и различите пратеће облике материје и енергије који се током поступка емитују у животну средину. Премда је неоспоран значај који овакав методолошки поступак има, превасходно у циљу побољшања различитих аспеката животне средине, одлучивања и сл., извесно је да је ова идеја тек у повоју. Стога тек предстоји обиман посао на разради појединих корака у установљеном алгоритму међусобних утицаја, а пре свега на прикупљању и мерењу одговарајућих података који се тичу појединачних материјала и производа.

Практична примена идеје о оцени животног циклуса материјала изискује да за сваки материјал, односно производ који користимо постоје квантификовани подаци који би послужили у конкретној процени утицаја које дати материјал има по животну средину, а пре свега у погледу коришћења ресурса, здравља људи, као и еколошких последица. При томе велики број материјала и производа, као и технолошких процеса, није до сада био подвргнут оваквој процени. Осим тога концепт LCA још увек не разматра питање процене важности појединачног утицаја и последица на животну средину у односу на неки други утицај који постоји, односно, не постоје основе за њихову упоредну анализу, што такође за сада ограничава практичну примену саме идеје.

#### **Оцена еколошке исправности материјала у савременој пракси – *Environmental Preference Method***

Као последица чињенице да је концепт LCA још увек недовољно приступачан, па сходно томе и тешко применљив, поштујући нарастајућу потребу за оценом еколошке исправности, у пракси се проналазе једноставнији начини за практичну процену еколошког квалитета. Иако овако поједностављене методе не могу дати квантификован одговор на квалитет интеракције материјала са животном средином, оне су превасходно значајне због саме чињенице да се еколошки аспект све више укључује у процес оцењивања наших активности и намера.

Једна од једноставнијих метода за процену еколошке исправности материјала, при том осмишљена за потребе примене у грађевинарству, **Environmental Preference Method**

или **ЕРМ**, развијена је у Холандији где се успешно практично примењује.<sup>8</sup> У основи прагматична, она се заснива на веома једноставним принципима, свдећи проблем на већ постојећа знања о материјалима и производима које примењујемо у пракси, и истовременим актуелним, начелним сазнањима о мери у којој они утичу на животну средину, узимајући у обзир све фазе 'живота' неког материјала или производа. Сматра се да је реч о својеврсној комбинацији глобалног и проблемског анализирања, с обзиром да се у обзир узимају сви релевантни аспекти, али да се процес истраживања заснива на расположивим информацијама које не морају нужно бити и квантификоване.

Процена еколошке исправности материјала и производа се врши узимајући у обзир читав спектар релевантних фактора, као што су:

- оскудица сировина,
- еколошке штете изазване вађењем сировина,
- потрошња енергија у свим фазама (укључујући и транспорт),
- потрошња воде,
- загађење буком и мирисима,
- штетне емисије типа оних које воде оштећењу озонског омотача,
- глобално загревање и киселе кише,
- здравствене аспекте,
- ризик од природних катастрофа,
- могућност поправке,
- могућност поновне употребе,
- питање отпадног материјала.

Процедура спровођења овакве методологије у пракси заснива се на четири карактеристична корака: 1) дефинисање циља, 2) анализа инвентара (попис изазваних ефеката на околину), 3) класификација, односно оцењивање утврђених утицаја, и 4) евалуација, односно интерпретација добијених резултата.<sup>9</sup>

Сам поступак евалуације представља јасно дефинисан систем релативног оцењивања, којим се прецизно дефинишу приоритети у погледу могућности примене материјала или производа у односу на истовремене ефекте које имају по околину. Поступком се утврђују преференције, односно приоритети које један материјал има у односу на други, по чему је читав метод добио име. Решење за сваки појединачни проблем који се разматра се тражи између четири могућа степена погодности (први, други или трећи приоритет,

односно искључивање (не препоручивање) примене) који се потом додатно образлажу. При том се могућност примене материјала разматра у односу на захтеве који су произашли из његове функције у одговарајућем елементу грађевине, правећи разлику између потреба изградње новог објекта и потреба реконструкције постојећег. Овим поступком се такође утврђује и тзв. основно опредељење (или избор) за сваки појединачни поступак избора, који нужно не представља најповољније решење у погледу еколошких погодности материјала, али представља решење у којем су оне још увек у прихватљивим границама, с тим што се, због погодности у погледу економских или технолошких захтева, може очекивати њихова учесталија примена у пракси.

Конкретан допринос концепта **ЕРМ** представља приручник у којем су систематизовано дати резултати спроведеног истраживања. На основу њега је данас могуће извршити одговарајућу процену еколошке исправности грађевинских материјала и производа, па последично и читавих објеката, што је већ нашло и практичну примену у земљи порекла ове методе – Холандији, али и неким другим европским земљама. Стога има основа и могућности да описани метод буде примењен и приликом процењивања еколошке исправности материјала који би могли бити примењени у поступку енергетског унапређења објеката и у овом раду.

#### **Карактеристике елемената омотача одабраног узорка грађевина и могући материјали и начини њиховог енергетског унапређења**

Резултати претходне фазе истраживања стања грађевинског фонда са подручја Београда показали су да највећи проценат постојећих објеката датира из времена пре доношења првих прописа из области термичке заштите.<sup>10</sup> Сходно томе, репрезентативни узорак над којим ће бити провераване могућности и начини спровођења енергетске оптимизације чине грађевине из периода од 1946. до 1970. године, (око 36% анализираног грађевинског фонда).

#### **Стање термичке перформансе репрезентативног узорка**

Када се има у виду да елементи материјализације објекта директно утичу на његове енергетске перформансе, постаје значајно да се утврде конкретне карактеристике у случају релевантних постојећих објеката, како би надале било могуће предвидети обим и меру потребног енергетског унапређења. С

обзиром на недостатак регулативе из домена топлотне заштите у анализираном периоду и последично занемаривање проблема термичких карактеристика објеката, уочљиво је да у склоповима конструкција објеката из датог времена нема слојева термичке изолације. Сходно томе, ради се о конструкцијама које не задовољавају прописе из ове области. Како се истовремено ради о објектима који су најзаступљенији у укупном грађевинском фонду Београда, највеће уштеде енергије се могу очекивати управо енергетским унапређењем оваквих зграда.

Ова фаза истраживања још увек није оријентисана ка анализирању појединачних постојећих објеката. У складу са тим, и даље ће се сагледавати начелне могућности енергетског унапређења зграда, с тим што се проблем сада разматра у односу на градитељске поступке, конструкције и материјале примењиване у одабраном временском периоду. Да бисмо могли да спроведемо поступак енергетске оптимизације неког објекта потребно је да знамо конкретне вредности термичких перформанси за сваки елемент његовог омотача. Информације које су нам у том смислу потребне тичу се релевантних карактеристика које се односе на просечне (односно преовлађујуће) елементе материјализације реперезентативног узорка. Спроведеном анализом постојећег грађевинског фонда у првој фази укупног истраживања оне су утврђене, што је приказано у Табели 1.

Табела 1 *Карактеристични елементи материјализације грађевина из периода 1946 до 1965. године<sup>11</sup>*

Елемент материјализације	примењени материјали		
	преовлађујући	ређе примењивани	
Спољни зид	подрум	опека 38cm	бетон 38cm
	спрат	опека 38cm	бетон 25cm
Спољна облога	равна малтерисана фасада без изолације		вештачки камен (без изолације)
Прозори	дрвени, двоструки		дрвени, једноструки
Кровна и таванска конструкција	коси кров + бетонска таваница		-
Облога кровне и таванске конструкције	фолија		-
Таваница изнад подрума	армирани бетон + малтер		челик – бетон + малтер

Имајући у виду да се циљ овог рада своди на преиспитивање начелних условљености које би нови ставови о интеракцији човека и околине, конкретизовани у еколошком аспекту, могли да произведу у погледу примене материјала (у

овом случају за потребе енергетске оптимизације), проблем ће се даље разматрати само за случај фасадних зидова и начина њиховог енергетског унапређења. У датим оквирима, потребно је установити какве су карактеристике просечног зида анализираних објеката које су битне за поступак енергетског унапређења. Као што је у раду већ претходно напоменуто, основни параметри које би у том смислу требало утврдити су: 1) коефицијент пролаза топлоте датог зида, затим 2) његова способност у погледу акумулативности (индиректно, на основу специфичне топлоте материјала и густине материјала), као и 3) питање могућности или ограничења у погледу могућности додавања било термоизолационих слојева, било елемената облагања. Ове карактеристике постојећег стања зидова приказане су у Табели 2. У оквиру табеле је, као репер у погледу термичких перформанси постојећих зидова, дата вредност коефицијента пролаза топлоте за спољашње зидове у II климатској зони (у којој се налази Београд) према актуелним термичким прописима. Варирање вредности коефицијента пролаза топлоте преовлађујућег зида које је видљиво у табели је резултат варијација које су проистичу као последица примене пуне, односно шупље опеке у комбинацији са малтерима различитих густина.

Табела 2 Релевантни параметри за енергетско унапређење елемената омотача на примеру спољашњег зида од опеке 38см

Тип зида од опеке (обострано малтерисан)	дебљина [m]	способност акумулативности		једноставност облагања и даље обраде	коефицијент пролаза топлоте U [W/m <sup>2</sup> °K]	
		специфична топлота c [J/kg°K]	густина ρ [kg/m <sup>3</sup> ]		стварна вредност зида	према важећим прописима из 1998.
3 <sub>1</sub> пуна опека	0,38	добра		без ограничења	1,38	0,90
		920	1200 - 1800		1,22	
3 <sub>2</sub> шупља опека	0,38	добра		ограничења у примени типлова и анкера	1,181	0,90
		920	1200 - 1400		1,098	

С обзиром на искуство у зидању опеком код нас, може се претпоставити да је пуна опека била много чешће примењивана, па ће се надаље анализирати управо ова варијанта зидова. Анализирајући резултате приказане табеле у светлу потенцијала за енергетско унапређење које поседује

одабрани, двоструко малтерисани зид од пуне опеке дебљине 38см, требало би нагласити да је реч о зиду који поседује добру акумулативност топлоте. Са друге стране, овакав зид не представља било какву препреку за додавање различитих термоизолационих слојева и њихових облога који се могу очекивати у поступку унапређења, па се може сматрати да у том погледу не постоје било каква ограничења.

#### Начини енергетског унапређења фасадних зидова анализираних узорка грађевина и материјали којима се она постиже

У општем случају посматрано, енергетско унапређење спољашњих зидова се може постићи на неколико начина:

- изменом слојева/структуре фасадног зида,
- увођењем нових архитектонских елемената који редефинишу положај зида, и
- захватом енергије.<sup>12</sup>

Опредељивање за конкретан принцип на који би енергетска оптимизација постојећег спољашњег зида од пуне опеке могла бити спроведена, односно за материјале помоћу којих би поступак био изведен, у великој мери је условљено следећим, међусобно спрегнутим параметрима:

- 'предиспозицијама' постојећег зида у погледу могућност примене неке од наведених метода, али и
- понудом материјала на постојећем тржишту и досадашњом праксом њихове примене.

У датом контексту, а пре свега имајући у виду установљене карактеристике одабраног постојећег зида, може се очекивати да би, као технолошки најједноставнији поступак, најзаступљенији начин енергетског унапређења био на принципу измене слојева, односно промене структуре фасадног зида. Стога ће се на даље разматрати примери који одговарају оваквом принципу, који подразумева додавање потребних термоизолационих слојева са одговарајућом облогом.

С обзиром на добру топлотну акумулативност постојећег зида, у оквиру усвојеног принципа енергетског унапређења, у односу на положај термоизолационог слоја предлаже се варијанта решења у којој би се термоизолациони слој поставио са спољашње стране фасадне преграде, што истовремено представља повољније решење са аспекта грађевинске физике. Даље варијације одабраног начина енергетског унапређења тичу се опредељења за ветрени или неветрени фасадни склоп. Познато је да је у контексту

термичких перформанси зида повољније решење на бази ветреног склопа, али треба рећи да и поред тога овакви типови фасада за сада нису у довољној мери заступљени код нас. Не треба заборавити ни чињеницу да ветрене фасаде у физичком смислу захтевају нешто више простора, па се може десити да у конкретним условима енергетског унапређења постојећих објеката постоје ограничења у том погледу. Са друге стране, како само опредељење за ветрене фасаде није условљено избором материјала за термоизолациони слој, већ избором система облагања фасадног зида, може се сматрати да ће се у поступку конкретног избора материјала (термоизолационих и материјала облоге), предност давати оним врстама облоге које се могу поставити и по принципу ветрених фасада.

Сужавањем проблема на карактеристике различитих варијанти неветрених фасадних склопова код којих се термоизолациони слој поставља са спољашње стране зида, стигло се до фазе разматрања избора конкретних материјала којима би се овакав начин енергетског унапређења објекта постигао. Ако претпоставимо да би се поступак енергетске рационализације у условима наше градитељске праксе најпре спроводио материјалима који су и до сада били најприсутнији на нашем тржишту, па сходно томе и најчешће примењивани, могао би да се очекује следећи избор:

- по питању опредељења за термоизолациони материјал између стаклене или минералне вуне, односно експандираног или екструдираниог полистирена (стиропора или стиродура),
- по питању опредељења за завршну обраду додатно изолованог зида између одговарајућег фасадног малтера, фасадне опеке или камених плоча.

Асортиману материјала облагања требало би придодати и материјале за које би се, према иностраном искуству, могло претпоставити да ће се њихова примена у домаћој пракси временом повећати, а то су савремене облоге на бази стакло-цемента, различите врсте дрвених облога, односно облога од лимова.

Предложене варијанте ни у ком случају не представљају једина могућа решења у погледу избора материјала, али се као очекиване варијанте узимају у коначно разматрање по питању сагледавања остварених резултата енергетског унапређења. Потребно је нагласити да, уколико се разматра само питање термичких перформанси рехабилитованог зида, опредељење за конкретан термоизолациони материјал није

предодређено његовим термичким карактеристикама, с обзиром да сви поседују исти коефицијент топлотне пропустљивости  $\lambda$ , па се ради о подједнако добрим термичким изолаторима.

Тако се, у коначном случају, добијају варијанте зидова са додатним слојем термоизолационог материјала (било којег од предложених) и неколико варијанти завршног слоја (фасадни малтер, фасадна опека, разне врсте облога: од камена – природног или у виду плоча на бази каменог агрегата, плоча на бази стакло-цемента, дрвених или металних облога). При томе се фасадни малтер може поставити искључиво директно на одговарајуће припремљени термоизолациони слој, за разлику од осталих предложених решења која је могуће реализовати било као ветрену, било као неветрену фасаду, што се може сматрати њиховом предношћу.

Табела 3 Примери енергетски унапређених зидова и њихових одговарајућих перформанси

ознака	тип зида		дебљина слоја [cm]	$\lambda$ [W/m <sup>2</sup> K]	$U_{\text{зида}}$ [W/m <sup>2</sup> K]	укупна дебљина додатних слојева [cm]
	додатни слојеви					
З <sub>1</sub>	термоизолација	5 (10)	0,041	0,477 (0,308)	6 (11)	
	фасадни малтер	1	0,70			
З <sub>2</sub>	термоизолација	5 (10)	0,041	0,447 (0,296)	17 (22)	
	фасадна опека	12	0,79			
З <sub>3</sub>	термоизолација	5 (10)	0,041	0,477 (0,309)	8 (13)	
	камене облоге	3	2,33			
З <sub>4</sub>	термоизолација	5 (10)	0,041	0,474 (0,308)	6 (11)	
	стакло-цементне плоче	1	0,41			
З <sub>5</sub>	термоизолација	5 (10)	0,041	0,474 (0,305)	6 (11)	
	дрвена облога	1	0,21			
З <sub>6</sub>	термоизолација	5 (10)	0,041	0,480 (0,310)	5 (10)	
	метална облога (Fe)	0,0008	58,5			

Табела показује да се већ додатком слоја од 5cm термоизолације и било које од предложених облога постојећи зид унапређује у мери да задовољава тренутно важеће домаће прописе, без обзира на избор облоге. Повећањем овог слоја на 10 cm зид би задовољавао и веома строге важеће Данске прописе, према којима се тражи да вредност

коэффициента пролаза топлоте спољашњих зидова не прелази вредност од  $0,31 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Овакви резултати потврђују да се енергетско унапређење постиже већ самим додавањем термоизолационог слоја, а да као последица дебљине примењених слојева, избор типа и врсте облоге, изузев у случају фасадне опеке, у том смислу није пресудан. Према томе, опредељење за врсту облоге се може тражити у естетским, извођачким или економским разлозима.

#### Оцена еколошке исправности предложених решења за енергетско унапређење фасадних зидова одабраног узорка грађевина

Уколико бисмо поступак избора материјала завршили на нивоу претходно постављених и анализираних захтева добио би се широк спектар могућности и начелно равноправних варијанти. Међутим, имајући у виду потребу за имплементацијом еколошког аспекта у нашу градитељску праксу, поставља се питање да ли би, и у којој мери, увођење додатног захтева из домена еколошке исправности предложених материјала утицало на коначан избор. Из ових разлога ће у наставку рада предложени материјали бити додатно испитани коришћењем **Environmental Preference Method**-е. Треба имати у виду да поједини поступци и материјали који се предлажу и разматрају у склопу овог концепта представљају последицу конкретне градитељске праксе и традиције Холандије у којој је овај методолошки поступак развијен. У том контексту предложена решења и препоруке у оквиру **ЕРМ** –а се не могу директно пресликати на случај наше градитељске праксе, али у великој мери могу послужити као подлога за преиспитивање еколошке исправности предложених мера енергетског унапређења.

**ЕРМ** на посебан начин разматра питање реконструкције постојећих објеката имајући у виду да изграђени објекат представља стечени услов, односно извесно ограничење за неке од градитељских активности. У случају спољашњих зидова, први корак који се овом методом преиспитује тиче се стања у којем се налазе постојећи зидови, односно преиспитивање начина њихове санације или припреме за даље градитељске активности, да би се независно преиспитале погодности примене неке од метода енергетског унапређења. Као што се из Табеле 4 може видети, приоритет се у том смислу даје: ојачању спојница као методи консолидације постојећег зида, чишћењу зидова применом влаге под ниским притиском, односно попуњавање шупљина у зидовима изолационим материјалима. С обзиром да у нашој

градитељској пракси није уобичајена примена прашкастих термоизолационих материјала, овакав поступак додатног термоизоловања постојећег зида се не може очекивати. Опредељење за додавање термоизолационог слоја на постојећи зид, које је изабрано у предложеном поступку енергетске оптимизације, по **ЕРМ** методи представља други приоритетни избор, што је у еколошком смислу и даље веома прихватљиво. Замерка која је оваквом начину додатног термичког изоловања стављена односи се на чињеницу да се њоме мења првобитни изглед објекта, што није увек прихватљиво решење.

Табела 4 Приоритети у погледу избора поступака припреме постојећег зида, његовог чишћења и методе термичког изоловања према **ЕРМ**

поступак	приоритет избора			
	приоритет 1	приоритет 2	приоритет 3	не препоручује се
санација и припрема зида	ојачање спојница	додавање (облагање) слојем тврдог дрвета или шпер плоче	додавање (облагање) слојем минералног премаза	додавање (облагање) слојем синтетичког премаза
чишћење зида	чишћење влагом под ниским притиском	суво чишћење под ниским притиском	чишћење влагом под високим притиском	хемијско чишћење
метод термичке изолације	попуњавање шупљих зидова термоизолационим материјалом	додавање спољашњег или унутрашњег слоја термоизолације	-	без изолације

Опредељење за конкретан термоизолациони материјал којим би била извршена додатна термичка изолација са спољашње стране се према **ЕРМ** методи врши између плуте, минералне вуне или стаклене вуне, експандираног или екструдираниог полистирена, као и полиуретанских плоча.

Табела 5 Приоритети у погледу избора материјала за додатну термичку изолацију зида са спољашње стране према **ЕРМ**

додавање спољашњег слоја термоизолације	приоритет избора			
	приоритет 1	приоритет 2	приоритет 3	не препоручује се
материјал	плута	минерална вуна	стаклена вуна; стиропор	стиродур, полиуретанско плоче

Премда наша градитељска пракса не познаје примену плуте као термоизолационог материјала фасадних зидова, овај материјал у условима примене у Холандији има приоритет. Он потиче из чињенице да се ради о материјалу чије су сировине за производњу природног, органског порекла (кора дрвета), а сам поступак производње не изискује пуно енергије. Реч је, такође, о обновљивом материјалу који се добро и лако разлаже, не остављајући при том отпад за собом, што све заједно даје предност овом материјалу у односу на остале који су разматрани. Међутим, цена материјала је определила да се, у холандским условима, основни избор налази у опредељењу за минералну вуну која се на листи приоритета налази на другом месту, па би се могло очекивати да и у нашим условима примене ово буде базично опредељење. Остали термоизолациони материјали чија је примена равноправно разматрана у поступку енергетске оптимизације се са еколошког аспекта лошије валоризују у поређењу са минералном вуном, било из разлога велике потрошње енергије и загађења околине током производног процеса (полистирен), било из разлога отежаног коришћења отпадног материјала који остаје престанком примене материјала (случај са стакленом вуном).

Процена еколошке исправности изабраног материјала облоге се према ЕРМ методи врши у зависности од опредељења за поступак малтерисања зидова (укључујући и облагање керамичким плочицама (преко одговарајуће подлоге) с обзиром на неопходну употребу малтера), или њиховог облагања одговарајућим плочама.

Табела 6 Приоритети у погледу избора материјала за завршну обраду фасаде према ЕРМ

посупак завршне обраде		приоритет избора			
		приоритет 1	приоритет 2	приоритет 3	не препоручује се
малтерисање и сл.	материјал	керамичке плочице	слој минералног малтера	слој синтетичког малтера	
облагање плочама		'одрживо' = контролисано сечено, издржљиво дрво	'одржива' шпер плоча; влакнасте дрвене плоче са синтетичким смолама	влакнасте плоче на бази цемента; папирне плоче са синтетичким смолама	егзотично дрво; металне (челичне) облоге

Као што Табела 6 показује, у поступку еколошког валоризовања материјала за завршну обраду фасада, ЕРМ методом, разматра се питање примене разнородних материјала. Неки од њих, посебно у случају плочастих облога, за сада нису нашли своју примену на нашем тржишту, али се може очекивати да ће се то временом изменити, поготово што неке од ових облога показују добре карактеристике управо у односу на постављене еколошке захтеве. Основни избор који би се у Холандији могао очекивати у погледу опредељења за поједине фасадне облоге, односи се на примену влакнастих плоча на бази цемента или синтетичких смола. Интересантно је да се са аспекта еколошке исправности металне облоге не препоручују што је чињеница да технолошки процеси добијања метала у принципу изазивају велике штете по животну средину, а да при том постоји довољно еколошки повољнијих решења. Кад је реч о малтерисању, ЕРМ метода *први приоритет* даје описаном облагању керамичким плочицама, имајући у виду њихову значајно већу трајност, као и могућност раздвајања од термоизолационог слоја приликом завршне фазе разградње објекта, што омогућава њихову независну рециклажу или разградњу.

Интересантно је да ЕРМ методом није обухваћено питање примене фасадне опеке, као ни камених облога које су у поступку енергетског унапређења предложени као могуће решење завршне обраде зидова. Док се у случају примене фасадне опеке, услед сличности у погледу природе материјала, карактеристике њене примене могу подвести под пример керамичких плочица, па се индиректно може закључити да је реч о еколошки погодном материјалу, изостанак еколошке евалуације камених облога се може тумачити као последица економских разлога.<sup>13</sup> Начелно разматрање последица које употреба камена има по човекову околину, показује да се проблем који се при томе јавља тиче озбиљног нарушавања крајолика које свака изградња и експлоатација каменолома изискује. При томе, за примену овог материјала је од великог значаја решавање питање његовог транспорта, које својим загађењима може индиректно да угрози животну средину.

#### Закључни коментар

Иако је коришћена методологија утврђивања еколошких приоритета заснована на традицији, искуству и ресурсима Холандије, па се одређена искуства нису могла директно



применити у случају наше земље, концепт у довољној мери пружа податке о утицајима које материјали које користимо у грађевинарству имају по животну средину. Стога би у будућности требало овакав или сличан метод допунити и прилагодити домаћим условима, како би процена еколошке исправности у нашим условима градитељског деловања била што објективнија и реалнија.

Додатна провера еколошке исправности предложених поступака и материјала којима би енергетско унапређење релевантних грађевина могло бити спроведено, показала је да би придруживање ових захтева укупним захтевима перформанси материјала извесно донело одређене корекције у поступку избора. Показало се да поједини материјали који се у нашој пракси радо и често примењују, као што је случај са полистиреном (експандираним или екструдираним) као термоизолационим материјалом, или различитим врстама облога од метала, не задовољавају критеријуме еколошке подобности. Оваква оцена је пре свега последица технолошких процеса који прате њихову производњу којима се у великој мери троше, пре свега енергетски ресурси, уз истовремену знатну емисију различитих загађивача. Насупрот томе, велики број савремених материјала који у великој мери задовољавају критеријуме еколошке исправности, још увек није нашао своје место на нашем градитељском простору, па би поменути праксу што пре требало изменити. Све ово указује на хитну потребу преиспитивања начина примене материјала и за остале делове грађевина, као и потребу проналажења и примењивања еколошки прихватљивијих решења.

Поменута сазнања би неизоставно требало искористити и применити у поступку креирања стратегије и политике друштва у домену животне средине и начина њене заштите и унапређења. Са друге стране, имајући у виду да наше друштво представља друштво које је још увек у почетним фазама транзиције, за наше услове нови приступ питању избора материјала за грађење би свакако требало озбиљно схватити, а његове принципе и решења применити, како у поступку иновирања постојећих, тако и у поступку усвајања нових технологија производње у оквиру грађевинске индустрије. Њих би од самог почетка требало усмеравати у правцу чистих технологија, концепта рециклирања, смањења и веће искористљивости отпадног материјала и сличним принципима. На крају се може очекивати да би прихватање оваквог, еколошки оријентисаног става, као свој резултат и

допринос временом донело значајне новине, али и унапређење квалитета, не само појединачних грађевина, већ и самог концепта грађења.

## Белешке

<sup>1</sup> Основне методолошке смернице са аспекта потребних мера за постизање енергетске оптимизације се могу наћи у: Михајловић-Ристивојевић М., 'Прилог развоју методологије за идентификацију параметара грађевинског фонда релевантних за утврђивање репрезентативног узорка са становишта енергетске оптимизације', Јовановић-Поповић М. (уредник), *Енергетска оптимизација зграда у контексту одрживе архитектуре, Део 1, Анализа структуре грађевинског фонда*, Архитектонски факултет Универзитета у Београду, Београд, 2003.

<sup>2</sup> Важећи стандарди перформанси у грађењу код нас су: Југословенски стандард JUS ISO 6241 из 1995. године – Стандарди перформанси у грађењу, Принципи за њихову примену и фактори који се узимају у обзир (идентичан са ISO 6241:1984), као и Југословенски стандард JUS ISO 7162 из 1995. године – Стандарди перформанси у грађењу, Садржај и формат стандарда за вредновање перформанси (идентичан са ISO 7162:1992).

<sup>3</sup> Михајловић-Ристивојевић М., опус цитиран.

<sup>4</sup> Треба имати у виду да су у нашим условима прописи из области термичке заштите зграда уведени у праксу седамдесетих година прошлог века и да се од тада до данас потребна вредност коефицијента пролаза топлоте "U" (некадашња, а код нас још увек важећа ознака је "k") мењала. О еволуцији и карактеристикама система прописа из области термичке заштите објеката видети: Радивојевић А., 'Искуства и правци развоја стандарда из области термичке заштите код нас и у свету', Јовановић-Поповић М. (уредник), *Енергетска оптимизација зграда у контексту одрживе архитектуре, Део 1, Анализа структуре грађевинског фонда*, Архитектонски факултет Универзитета у Београду, Београд, 2003.

<sup>5</sup> Код нас су за сада у примени преводи одговарајућих ISO стандарда из ове области и то: JUS ISO 14001:1997, Управљање заштитом животне средине – Спецификација са упутством за употребу (идентичан са ISO 140001:1996), JUS ISO 14040:1998, Управљање заштитом животне средине, Оцењивање животног циклуса материјала, Принципи и оквир (идентичан са ISO 14040:1997), JUS IEC Упутство:1998, Аспекти животне средине – Укључивање у стандарде електротехничких производа (идентичан са IEC Guide 109:1997). Поред тога, одређени број стандарда је су у поступку превођења и усвајања: IEC Guide 2:1996, Standardisation and related activities / General vocabulary, ISO Guide 64:1997, Guide for the inclusion of environmental aspects in product standards, ISO 15686-1,

Building and constructed assets – Service life planning, Part 1: General principles.

<sup>6</sup> Скраћеница LCA (Life Cycle Assessment) представља опште прихваћену ознаку за поступак оцене животног циклуса материјала.

<sup>7</sup> Слика је преузета из радне верзије превода стандарда ISO Guide 64:1997, Guide for the inclusion of environmental aspects in product standards,

<sup>8</sup> О основним карактеристикама EPM методе, као и сличношћу са LCA видети у: Anink D., Boonstra C. and Mak J., *Handbook of Sustainable Building, An Environmental Preference Method for Selection of Materials for Use in Construction and Refurbishment*, James & James, London, second reprint 2001.

<sup>9</sup> Реч је о истим процедуралним фазама које се јављају и код LCA методе, с тим што се у овом случају користе само они подаци који су тренутно расположиви, а не сви потенцијално могући.

<sup>10</sup> Јовановић-Поповић М. и Игњатовић Д., 'Концепт методологије структурирања грађевинског фонда са аспекта енергетске оптимизације', Јовановић-Поповић М. (уредник), *Енергетска оптимизација зграда у контексту одрживе архитектуре, Део 1, Анализа структуре грађевинског фонда*, Архитектонски факултет Универзитета у Београду, Београд, 2003.

<sup>11</sup> Подаци из ове табеле преузети су из Табеле 4 у оквиру претходно цитираног рада.

<sup>12</sup> Више о конкретним карактеристикама поменутих начина постизања енергетског унапређења фасадних зидова видети у раду Ђуковић-Игњатовић Наташе у оквиру ове монографије.

<sup>13</sup> У приручнику EPM методологије примена камена је разматрана у веома малом броју случајева, и то само онда када је реч о решавању појединих детаља који подразумевају потребу за малом количином каменог материјала.

CIP - Каталогизација у публикацији  
Народна библиотека Србије, Београд

699.86

**НАУЧНО истраживачки пројекат „Енергетска  
оптимизација зграда у контексту одрживе  
архитектуре”**. Фаза 2, Могућности  
унапређења енергетских карактеристика  
грађевинског фонда / [руководилац пројекта  
Милица Јовановић Поповић ; аутори Милица  
Јовановић Поповић... и др.]. - Београд :  
Архитектонски факултет Универзитета, 2005  
(Београд : Чигоја штампа). - 183 стр. :  
илустр., табеле ; 24 cm

Подаци о ауторима преузети из импресума. -  
Тираж 200. - Библиографија: стр. 181-183 и  
уз поједине радове.

ISBN 86-80095-74-5

1. Јовановић Поповић, Милица  
а) Зграде - Топлотна изолација б) Зграде  
- Топлота - Оптимизација  
COBISS.SR-ID 122547212