

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

АРХИТЕКТОНСКИ ФАКУЛТЕТ

Катарина Ј. Славковић

**ПРОЦЕНА УГРАЂЕНЕ И ОПЕРАТИВНЕ
ЕНЕРГИЈЕ ЗА ОДАБРАНЕ НИВОЕ
УНАПРЕЂЕЊА ЕНЕРГЕТСКИХ
СВОЈСТАВА ПОРОДИЧНИХ КУЋА**

Докторска дисертација

Београд, 2016

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

АРХИТЕКТОНСКИ ФАКУЛТЕТ

Катарина Ј. Славковић

**ПРОЦЕНА УГРАЂЕНЕ И ОПЕРАТИВНЕ
ЕНЕРГИЈЕ ЗА ОДАБРАНЕ НИВОЕ
УНАПРЕЂЕЊА ЕНЕРГЕТСКИХ
СВОЈСТАВА ПОРОДИЧНИХ КУЋА**

Докторска дисертација

Београд, 2016

UNIVERSITY OF BELGRADE
FACULTY OF ARCHITECTURE

Katarina J. Slavković

**ESTIMATE OF EMBODIED AND
OPERATIONAL ENERGY FOR
SELECTED LEVELS OF ENERGY
PERFORMANCE IMPROVEMENT OF
FAMILY HOUSES**

Doctoral Dissertation

Belgrade, 2016

Ментор

Др Александра Крстић-Фурунцић, редовни професор
Универзитет у Београду, Архитектонски факултет

Чланови комисије

Др Александра Крстић-Фурунцић, редовни професор
Универзитет у Београду, Архитектонски факултет

Др Ана Радивојевић, ванредни професор
Универзитет у Београду, Архитектонски факултет

Др Бранислав Живковић, редовни професор
Универзитет у Београду, Машински факултет

*Докторска дисертација је посвећена мојој породици,
захваљујем им на безусловној љубави, разумевању и подршци.*

Посебну захвалност на емотивном и моралном узору дугујем

Вери Славковић, Едити Славковић и Софији Добравац.

ПРОЦЕНА УГРАЂЕНЕ И ОПЕРАТИВНЕ ЕНЕРГИЈЕ ЗА ОДАБРАНЕ НИВОЕ УНАПРЕЂЕЊА ЕНЕРГЕТСКИХ СВОЈСТАВА ПОРОДИЧНИХ КУЋА

Апстракт

Циљ истраживања је утврђивање односа уграђене и оперативне енергије током животног циклуса породичне куће на коју су примењене мере унапређења енергетских својстава. Модел за процену енергије животног циклуса кућа, формиран је и примењен на типичну породичну кућу у Сомбору, Србија. Модел се састоји из пет парцијалних модела са математичким једначинама и инвентарима улазних и излазних података. За процену иницијалне уграђене, накнадне уграђене и енергије рушења зграде преузимају се подаци из базе Екоинвент (енг. Ecoinvent). Оперативна енергија пре и након унапређења процењује се применом компјутерског програма Пакет за планирање пасивне куће (енг. Passive House Planning Package - PHPP), а уведени су термини *иницијална* и *накнадна оперативна енергија*.

Комбиновањем итерација пасивних мера (унапређење топлотног омотача) и активних мера унапређења (примена техничких инсталација), утврђени су бројни нивои унапређења енергетских својстава референтне породичне куће. Поређењем вредности накнадне оперативне енергије референтне куће, одабрана су три карактеристична нивоа унапређења. Одабир је заснован на испитивању испуњености услова о енергетској ефикасности утврђених националном регулативом (минимални захтеви за постојеће куће), стандардом без обавезе примене - пасивна кућа (нем. Passivhaus) и европском регулативом (зграде близу нулте енергије, енгл. nearly zero energy building - NZEB). Модел за процену енергије животног циклуса примењује се на дванаест варијанти референтне породичне куће, постојећих и унапређених енергетских својстава. Предвиђени животног век куће је 100 година, а унапређења су примењена 30, 40 и 50 година након изградње куће.

Резултати истраживања обухватају модел за процену енергије животног циклуса кућа на које су примењене мере унапређења енергетских својстава и однос између уграђене и оперативне енергије типичне породичне куће у Сомбору. Такође, уграђена енергија неопходна за приближавање или испуњавање одабраних услова енергетске ефикасности, као и резултујуће уштеде у оперативној енергији свих анализираних варијанти референтне породичне куће, показују да је будућим унапређењима енергетских својстава постојећих зграда у Србији неопходно приступити са полазишта енергије животног циклуса, изражене у јединицама примарне енергије. Истраживање указује на потребу за стандардизацијом њеног мерења и укључивањем уграђене енергије као индикатора енергетске ефикасности у регулативу.

Кључне речи: Уграђена и оперативна примарна енергија, животно циклус зграде, активне и пасивне мере унапређења енергетских својстава, услови енергетског перформанса, зграде ниске потрошње енергије.

Основна научна област: Архитектура и урбанизам.

Ужа научна област: Технологије у архитектури и менаџмент и биоклиматска и еколошка архитектура.

УДК: 728.3:620.91(043.3)

ESTIMATE OF EMBODIED AND OPERATIONAL ENERGY FOR SELECTED LEVELS OF ENERGY PERFORMANCE IMPROVEMENT OF FAMILY HOUSES

Abstract

The aim of the research is to determine the ratio between the embodied and operational energy during the life cycle of family house which was subject to energy performance improvement measures. The life cycle energy estimate model for houses was created and applied to a typical family house in Sombor, Serbia. The model includes five partial models with mathematical equations and input-output inventories. The data for the initial, recurring and demolition energy estimates were obtained from the Ecoinvent database. The prior and post improvement operational energy was estimated by using the Passive House Planning Package - PHPP computer programme and the concepts *initial* and *recurring operational energy* were introduced.

By combining the iterations of passive (improvement of thermal envelope) and active (application of technical installations) energy-saving measures a number of energy performance improvement levels of the reference family house were defined. Three characteristic improvement levels were selected through a comparative analysis of the recurring operational energy results of the reference house. The selection was made in accordance with energy efficiency requirements stipulated by the national regulations (minimal requirements for the existing houses), the non-mandatory standard - passive house (ger. Passivhaus) and the EU Regulation (nearly zero energy building - NZEB). The model for life cycle energy estimate was applied to twelve variants of the reference family house with the existing and improved energy performance. The predicted lifecycle of the house is 100 years and the improvement is conducted in the periods of 30, 40 and 50 years after the construction.

The results of the research include the model for the life cycle energy estimate for houses which were subject to energy performance improvement measures and the ratio between the embodied and operational energy of typical house in Sombor. Furthermore, embodied energy necessary to meet the chosen energy efficiency

requirements and the resulting savings in operational energy of all analysed variants of the reference family house demonstrate that future improvements of existing buildings in Serbia should start from the aspect of life cycle energy expressed in primary energy units. Research points to the need for the standardisation of its measurement and the inclusion of embodied energy as an indicator for energy efficiency in the regulations.

Keywords: Embodied and operational primary energy, building life cycle, active and passive measures for the improvement of energy performance, energy performance requirements, low energy buildings

Scientific field: Architecture and urbanism.

Area of expertise: Technologies in architecture and management and bioclimatic and ecological architecture.

UDC: 728.3:620.91(043.3)

Садржај

Апстракт	III
Abstract	V
Садржај	VII
Појмовник	XII
Скраћенице и симболи	XVI
1. УВОД	1
1.1. Предмет истраживања	1
1.2. Проблем истраживања	5
1.3. Циљ истраживања	11
1.4. Задаци истраживања	11
1.5. Хипотезе истраживања	13
1.6. Научне методе истраживања	13
1.7. Научна оправданост, резултати и практична примена резултата	15
1.8. Преглед садржаја дисертације	17
2. ЕНЕРГЕТСКА ЕФИКАСНОСТ И СТАМБЕНИ СЕКТОР	19
2.1. Потрошња енергије у стамбеном сектору у Европи и Србији	19
2.2. Регулатива о енергетској ефикасности у зградарству	22
2.2.1. Регулатива о енергетској ефикасности зграда у Србији	22
2.2.2. Регулатива о енергетској ефикасности зграда у ЕУ	30
2.3. Зграде високих перформанси	36
2.3.1. Зграде ниске потрошње енергије	38

<u>3. ЕНЕРГИЈА ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА ЗГРАДА</u>	<u>47</u>
3.1. Оцена животног циклуса	47
3.2. Анализа енергије животног циклуса	51
3.3. Фазе животног циклуса зграде	52
3.3.1. Екстракција сирових материјала из природне средине	54
3.3.2. Транспорт сировина и компоненти зграде	55
3.3.3. Обрада и производња компоненти зграде	57
3.3.4. Изградња и уградња компоненти у зграду	57
3.3.5. Коришћење зграде	60
3.3.6. Одржавање и унапређење енергетских својстава зграде	63
3.3.7. Рушење зграде	65
3.3.8. Одлагање или рециклажа компоненти зграде	65
3.4. Границе система животног циклуса зграде	66
3.5. Категорије енергије животног циклуса зграде	69
3.5.1. Уграђена енергија	70
3.5.2. Оперативна енергија	72
3.5.3. Однос уграђене и оперативне енергије	73
<u>4. ПОДАЦИ И ПРЕТПОСТАВКЕ ЗА МЕТОДОЛОШКИ ПОСТУПАК ПРОЦЕНЕ ЕНЕРГИЈЕ ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА КУЋА У СРБИЈИ</u>	<u>76</u>
4.1. Методолошки поступак процене уграђене енергије	76
4.1.1. Базе података уграђене енергије у компоненте зграде	77
4.1.1.1. Кумулативна енергетска потражња	82
4.1.1.2. Преузимање података из базе Екоинвент	83
4.1.1.3. Недостаци преузимања података	85
4.1.2. Математички модели за прорачун уграђене енергије	87
4.1.3. Претпоставке значајне за процену уграђене енергије	93
4.1.3.1. Животни век породичне куће и њених компоненти	93
4.1.3.2. Транспорт компоненти зграде	97
4.1.3.3. Изградња и уградња компоненте у зграду	99
4.1.4. Варијабле за парцијалне моделе уграђене енергије	101

4.2. Методолошки поступак процене оперативне енергије	104
4.2.1. Оперативна енергија постојећих породичних кућа	104
4.2.2. Компјутерска симулација оперативне енергије	106
<u>5. УНАПРЕЂЕЊЕ ЕНЕРГЕТСКИХ СВОЈСТАВА РЕФЕРЕНТНЕ КУЋЕ</u>	111
5.1. Типична породична кућа у Сомбору	111
5.1.1. Породичне куће у Сомбору и Србији	112
5.1.2. Референтна породична кућа у Сомбору	121
5.1.3. Оперативна енергија куће пре унапређења енергетских својстава	125
5.2. Нивои унапређења енергетских својстава куће	129
5.3. Мере унапређења енергетских својстава куће	132
5.3.1. Пасивне мере унапређења енергетских својстава куће	134
5.3.1.1. Унапређење нетранспарентних елемената топлотног омотача	134
5.3.1.2. Унапређење транспарентних елемената топлотног омотача	137
5.3.1.3. Однос површина транспарентних и нетранспарентних елемената на јужно оријентисаном спољашњем зиду	138
5.3.2. Активне мере унапређења енергетских својстава куће	140
5.3.2.1. Механички систем за вентилацију	140
5.3.2.2. Активни соларни системи	141
5.3.3. Мере унапређења електричних уређаја у домаћинству	142
<u>6. ОПЕРАТИВНА ЕНЕРГИЈА РЕФЕРЕНТНЕ КУЋЕ НАКОН УНАПРЕЂЕЊА ЕНЕРГЕТСКИХ СВОЈСТАВА</u>	143
6.1. Испуњеност одабраних услова о енергетској ефикасности зграде	143
6.1.1. Испуњеност услова из националне регулативе	144
6.1.2. Испуњеност услова стандарда пасивне куће	146
6.1.3. Испуњеност услова из европске регулативе	150
6.2. Референтни нивои унапређења енергетских својстава породичне куће	154
6.3. Уштеде у оперативној енергији референтних нивоа унапређења	156

<u>7. МОДЕЛ ЗА ПРОЦЕНУ ЕНЕРГИЈЕ ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА КУЋЕ НА КОЈУ СУ ПРИМЕЊЕНЕ МЕРЕ УНАПРЕЂЕЊА ЕНЕРГЕТСКИХ СВОЈСТАВА</u>	<u>158</u>
7.1. Структура модела животног циклуса породичне куће	158
7.2. Математички модел за процену уграђене и оперативне енергије	162
7.2.1. Енергија животног циклуса зграде	165
7.2.2. Парцијални модел за иницијалну уграђену енергију	166
7.2.3. Парцијални модел за накнадну уграђену енергију	168
7.2.4. Парцијални модел за енергију рушења	171
7.2.5. Парцијални модели за иницијалну и накнадну оперативну енергију	172
<u>8. ПРИМЕНА МОДЕЛА НА ТИПИЧНУ ПОРОДИЧНУ КУЋУ У СОМБОРУ</u>	<u>174</u>
8.1. Уграђена и оперативна енергија са аспекта одабраних нивоа унапређења	174
8.1.1. Кућа непромењених енергетских својстава	175
8.1.2. Кућа унапређена ради испуњавања услова националне регулативе	177
8.1.3. Кућа унапређена ради испуњавања услова стандарда пасивна кућа	179
8.1.4. Кућа унапређена ради испуњавања услова европске регулативе	181
8.2. Уграђена и оперативна енергија са аспекта времена примене унапређења	183
8.2.1. Кућа унапређена 30 година након изградње	184
8.2.2. Кућа унапређена 40 година након изградње	186
8.2.3. Кућа унапређена 50 година након изградње	188
8.3. Систематизација резултата о уграђеној и оперативној енергији	190
<u>9. ЗАКЉУЧАК</u>	<u>193</u>
9.1. Закључна разматрања	193
9.2. Будућа истраживања	202

Литература	206
Попис дијаграма, табела и слика	219
Прилози	226
Прилог А. Подаци из националне регулативе о енергетској ефикасности зграда	226
Прилог Б. Подаци о стандарду без обавезе примене - пасивна кућа	227
Прилог В. Подаци о бази података Екоинвент	228
Прилог Г. Оперативна енергија пре унапређења куће	228
Прилог Д. Оперативна енергија након унапређења куће	232
Прилог Ђ. Енергија животног циклуса куће	239
Биографија аутора	255
Изјаве аутора	258
Изјава о ауторству	258
Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада	259
Изјава о коришћењу	260

Појмовник

Изрази употребљени у дисертацији имају следеће значење:

Ануализована енергија је средња годишња вредност потрошње енергије која се приписује временском периоду или укупном животном циклусу зграде и/или њених компоненти.

Границе система су тачке где се сусрећу и повезују различити циклуси између производа, процеса и животне средине, а које обухватају колевку, капију, локацију и гроб.

Енергетска ефикасност је однос између оствареног резултата у уштеди оперативне енергије и за то утрошене уграђене енергије, у животном циклусу зграде.

Енергетска својства зграде су оне карактеристике зграде које утичу на вредност прорачунате количине енергије животног циклуса, а које подразумевају геометријска својства, својства топлотног омотача и својства термотехничких система и електричних уређаја у згради.

Енергија животног циклуса је сума уграђене и оперативне енергије у животном циклусу зграде, од иницијалног вађења и обраде сировог материјала из природне средине, преко употребе зграде, испоруке на место одлагања (или место рециклаже) и одлагање компоненти зграде.

Енергија рушења је стварно потрошена или прорачуната количина енергије у фазама животног циклуса зграде рушење и испорука до места одлагања (или места рециклаже) и одлагање компоненти зграде.

Животни циклус је скуп узастопних и међусобно повезаних фаза кроз које пролази производ, од иницијалног вађења и обраде сировог материјала из природне средине, преко употребе до испоруке на место одлагања (или место рециклаже) и одлагање производа.

Зграда близу нулте енергије је зграда дефинисана *ревидираном EPBD Директивом* као „зграда која има веома висока енергетска својства (...). Приближно нулта или веома ниска количина потребне енергије би требало да се у веома значајној мери покрива енергијом из обновљивих извора, укључујући енергију из обновљивих извора која се производи на локацији или у близини¹” (The European Parliament and the Council of the European Union [EPCEU], 2010, p. 18).

¹ Енг. „nearly zero-energy building means a building that has a very high energy performance (...). The nearly zero or very low amount of energy required should be covered to a very significant extent by

Зграда ниске потрошње енергије је зграда чија су енергетска својства боља у поређењу са енергетским својствима конвенционалних зграда изграђених према националним прописима о енергетској ефикасности у некој држави или на подручју.

Инвентар је скуп улазних и излазних података у животном циклусу производа, који се односе на токове енергије, ресурса, отпада, емисија или утицаја на животну средину.

Иницијална оперативна енергија је стварно потрошена или прорачуната количина енергије у фази животног циклуса коришћења зграде, а у делу животног циклуса од завршетка изградње зграде до поступка унапређења енергетских својстава, која задовољава различите видове потрошње у вези са стандардизованом употребом зграде: грејање, хлађење, вентилацију, припрему СТВ, употребу електричних уређаја и осветљење.

Иницијална уграђена енергија је прорачуната количина енергије у фазама животног циклуса од екстракције сирових материјала из природне средине до завршетка првобитне изградње на грађевинској локацији, а која задовољава енергетску потражњу везану за производњу и испоруку компоненти и изградњу зграде.

Испоручена енергија је енергија доведена техничким системима зграде за покривање енергетских потреба за грејање, хлађење, вентилацију, употребу електричних уређаја, припрему СТВ, осветљење и погон помоћних система.

Кумулативна енергија је резултат непрекидног додавања вредности потрошене енергије која се приписује утврђеном временском периоду једног дела или укупног животног циклуса зграде и њених компоненти.

Мере за унапређење енергетских својстава подразумевају грађевинске радове за унапређење топлотног омотача који доводе до оптимизације топлотних губитака и добитака у згради, као и поступке примене техничких система који доводе до уштеде топлотних губитака и производње енергије из обновљивих извора, а са циљем процењивог смањења потрошње енергије животног циклуса при уобичајеном начину коришћења и одржавања зграде.

Модел за процену енергије животног циклуса зграде је скуп математичких формула за рачунање потрошње уграђене и оперативне енергије зграде, од

energy from renewable sources, including energy from renewable sources produced on-site or nearby” (EPCEU, 2010, p. 18)

иницијалног вађења и обраде сировог материјала из природне средине, преко употребе зграде до испоруке на место одлагања (или место рециклаже) и одлагање компоненти зграде.

Накнадна оперативна енергија је стварно потрошена или прорачуната количина енергије у фази животног циклуса коришћење зграде, а у делу животног циклуса од поступка унапређења енергетских својстава до финалног рушења, која задовољава различите видове потрошње у вези са стандардизованом употребом зграде: грејање, хлађење, вентилацију, припрему СТВ, употребу електричних уређаја и осветљење.

Накнадна уграђена енергија је прорачуната количина енергије у фазама животног циклуса зграде (фаза одржавања и унапређења енергетских својстава зграде) и фазама животног циклуса компоненти зграде обухваћених поступцима одржавања и унапређења (од екстракције сирових материјала из природне средине, преко производње, испоруке, уградње, демонтаже, до одлагања компоненти зграде).

Ниво унапређења енергетских својстава подразумева скуп мера унапређења енергетских својстава које доводе до процењивог смањења потрошње енергије животног циклуса зграде, а које одговарају уобичајеном начину њеног коришћења и одржавања.

Оперативна енергија је стварно потрошена или прорачуната количина енергије у фази животног циклуса коришћење зграде, која задовољава различите видове потрошње у вези са стандардизованом употребом зграде: грејање, хлађење, вентилацију, припрему СТВ, употребу електричних уређаја и осветљење.

Пасивна кућа је зграда дефинисана Правилником о енергетској ефикасности зграда у РС, „Пасивна зграда је зграда у којој годишња потрошња енергије за грејање по јединици корисне површине не прелази 15 kWh/m^2 ” (Министарство грађевинарства, саобраћаја и инфраструктуре [МГСИ], 2011, р. 4).

Пасивна кућа је зграда сертификована од стране Института пасивна кућа (енг. Passive House Institute) и дефинисана као зграда у којој годишња потрошња потребне енергије за грејање по јединици користне површине не прелази 15 kWh/m^2 , годишња потрошња потребне енергије за хлађење по јединици корисне површине не прелази $15 \text{ kWh/m}^2 + 0,3 \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K)} \cdot \text{DDH}$, годишња потрошња укупне примарне енергије не прелази 120 kWh/m^2 , број измена ваздуха инфилтрацијом не прелази $0,6 \text{ h}^{-1}$ при разлици

притисака од 50 Pa и испуњава остале услове за стицање сертификата за нове зграде (Passive House Institute, 2013a).

Примарна енергија представља енергију из обновљивих и необновљивих извора која није претрпела било какву конверзију или процес трансформације.

Референтна зграда је реални пример репрезентативне зграде коју одликују најзаступљенија енергетска својстава анализираног статистичког узорка грађевинског фонда, јасног типолошког и географског одређења. У односу на референтну зграду се формирају мере унапређења енергетских својстава и врше поређења прорачунатих вредности уграђене и оперативне енергије зграде на коју су мере примењене.

Уграђена енергија је прорачуната количина енергије у свим фазама животног циклуса зграде осим у фази коришћења, која задовољава енергетску потражњу везану за вађење сирових материјала из природне средине, испоруку, производњу, изградњу, одржавање, унапређење, коначно рушење, испоруку компоненти зграде на место одлагања или место рециклаже и одлагање, и која обухвата поткатегорије иницијалне уграђене, накнадне уграђене и енергије рушења зграде.

Унапређење енергетске ефикасности је успостављање или побољшање односа између оствареног резултата у уштедама оперативне енергије и за то утрошене уграђене енергије у животној циклусу зграде.

Услови енергетске ефикасности су граничне вредности енергетских својстава зграде у односу на које се врши поређење израчунатих вредности енергетских својстава, а које су дефинисане регулативом о енергетској ефикасности зграда или стандардима без обавезе примене о зградама ниске потрошње енергије.

Финална енергија је укупна енергија потрошена за задовољавање свих енергетских потреба у домаћинству за грејање, хлађење, вентилацију, припрему СТВ, употребу електричних уређаја и осветљење, укључујући и губитке у преносу и дистрибуцији енергије, енергију термотехничких система и система који производе енергију из обновљивих извора.

Скраћенице и симболи

Скраћенице употребљене у дисертацији имају следеће значење:

CED	енг. cumulative energy demand, срп. кумулативна енергетска потражња
LCA	енг. life cycle assessment, срп. оцена животног циклуса или енг. life cycle analysis, срп. анализа животног циклуса
LCE	енг. life cycle energy, срп. енергија животног циклуса
LCEA	енг. life cycle energy analysis, срп. анализа енергије животног циклуса
LCI	енг. life cycle inventory, срп. инвентар животног циклуса
LCIA	енг. life cycle impact assessment, срп. оцена утицаја животног циклуса
LC-ZEB	енг. life cycle-zero energy building, срп. зграда нулте енергије животног циклуса
NZEB	енг. nearly zero energy building, срп. зграда близу нулте енергије
ЕУ	Европска Унија
ОИЕ	обновљиви извори енергије
ОИ	обновљиви извори
РС	Република Србија
СТВ	санитарна топла вода

Симболи употребљени у дисертацији имају следеће значење:

c	број циклуса
d	дистанца испоруке [km]
E	енергија [MJ, kWh]
k	редукциони коефицијент
m	количине материјала [kg, m ³ , m ² , m, ком.]

p	теоријски учинак [m^3/h , m^2/h , m/h , $h/\text{циклус}$]
P	снага [kW]
t	време [h]
Q	количина грађевинских радова [kg, m^3 , m^2 , m, ком.]
w	коефицијент отпада
y	број година

Натписани симболи:

demo	енг. demolition, срп. рушење
init	енг. initial, срп. иницијална
rec	енг. recurring, срп. накнадна

Потписани симболи:

A	енг. assembly, срп. уградња
c	енг. cooling, срп. хлађење
cg	енг. cradle to gate, срп. од колевке до капије
CG	енг. cradle to gate, срп. од колевке до капије
D	енг. demolition, срп. рушење
dwh	енг. domestic water heating, срп. грејање санитарне воде
E	енг. embodied, срп. уграђена
ea	енг. electrical appliances, срп. електрични уређаји
EL	енг. elimination, срп. елиминација
h	енг. heating, срп. грејање
l	енг. lighting, срп. осветљење
LCE	енг. life cycle energy, срп. енергија животног циклуса
O	енг. operating, срп. оперативна
re	енг. renewable energy, срп. обновљива енергија
t	енг. transport, срп. транспорт
T	енг. transport, срп. транспорт
v	енг. ventilating, срп. вентилисање

1. УВОД

1.1. Предмет истраживања

Постојеће породичне куће у Србији карактерише прекомерна потрошња оперативне енергије јер углавном не задовољавају минималне захтеве о енергетској ефикасности дефинисане актуелном регулативом. Велики број породичних кућа у Србији је подигнут без неопходне техничке документације и без поштовања прописа о топлотној заштити. Последично, количина оперативне енергије има изузетно велики удео у укупној вредности енергије животног циклуса породичне куће. Смањење прекомерне потрошње оперативне енергије породичних кућа се постиже применом мера унапређења њихових енергетских својстава. Овим се смањује удео оперативне енергије и повећава удео уграђене енергије у укупној енергији животног циклуса куће. Унапређење енергетских својстава породичне куће је кључни део комплексног система животног циклуса породичне куће јер се у њему мења однос уграђене и оперативне енергије.

Предмет истраживања докторске дисертације обухвата мере за унапређење енергетских својстава породичних кућа изграђених на територији града Сомбора у временском периоду од 1961. до 1990. године. Сомбор је типичан град у Војводини у којем је скоро половина стамбеног фонда изграђена у наведене три деценије, а доминантан облик становања чине управо породичне куће. Научно истраживање разматра породичну кућу као независну целину која задовољава потребе једне породице и захтева одређену количину енергије током животног циклуса, од момента екстракције сирових материјала из природне средине до елиминације материјала након рушења зграде. Помоћне зграде на парцели, нпр. гараже, шупе и оставе, нису обухваћене истраживањем.

На типичну породичну кућу у Сомбору се примењују мере унапређења енергетских својстава са циљем испуњавања одабраних услова енергетске ефикасности дефинисаних регулативом у Србији и Европској Унији и стандардима без обавезе примене о зградама ниске потрошње енергије. Предмет истраживања обухвата групе пасивних и активних мера унапређења:

- пасивне мере унапређења својстава топлотног омотача са циљем оптимизације топлотних губитака и добитака и
- активне мере унапређења применом техничких система са циљем смањења топлотних губитака и производње енергије из обновљивих извора.

Појединачне мере унапређења обухватају више варијанти, односно, итерација. Комбиновањем ових итерација формирају се бројни нивои унапређења енергетских својстава куће, за које се спроводи компјутерска симулација потрошње енергије. Анализом резултата компјутерске симулације утврђују се три карактеристична нивоа унапређења:

- први ниво унапређења се бира на основу испуњења минималних услова енергетске ефикасности утврђених националном регулативом, пре свега *Правилником о енергетској ефикасности зграда* (Министарство грађевинарства, саобраћаја и инфраструктуре [МГСИ], 2011), и *Правилником о условима, садржини и начину издавања сертификата о енергетским својствима зграда* (МГСИ, 2012),
- други ниво унапређења се бира на основу испуњења одабраних услова енергетске ефикасности утврђених стандардом зграде ниске потрошње енергије пасивна кућа (Passivhaus Institut [PI], 2013) чија се примена у пракси спроводи на добровољној основи, и
- трећи ниво унапређења се бира на основу испуњења одабраног услова енергетске ефикасности утврђеног дефиницијама зграда близу нулте енергије формираних на основу *ревидиране EPBD Директиве* (The European Parliament and the Council of the European Union [EPCEU], 2010).

Породично становање у Србији је део грађевинског фонда за који се очекује да ће проћи кроз значајне трансформације у складу са регулативом и актуелним трендовима науке. Досадашња истраживања стамбеног сектора у Србији су испитала само неколико сценарија потенцијалних унапређења енергетских својстава зграда (Јовановић Поповић et al., 2013), која су

усредсређена на категорију оперативне енергије. У функцији научног сазнања, могућности унапређења типичне породичне куће у Сомбору се испитују са аспекта енергије животног циклуса.

Разлози за ретку примену мера унапређења енергетских својстава породичних кућа у Србији су:

- економска криза и смањење интензитета грађевинских радова,
- недовољно разрађена регулатива која третира само одређени број параметара енергетске ефикасности у зградарству,
- ограниченост средстава за спровођење свеобухватних истраживања и потребних мерења енергетске потрошње директно на терену,
- мањак финансијских подстицаја, нпр. пореске олакшице, новчане субвенције или повољни кредити, за спровођење унапређења енергетских својстава постојећих зграда до испуњења услова стандарда зграда ниске потрошње енергије и
- незаинтересованост станара за имплементацију стандарда кућа високих енергетских својстава.

Теоријско одређење

Истраживање, анализа и систематизација референтних извора података су показали да многи садржаји само делимично задовољавају, или у потуности не задовољавају, потребе за стварањем опсежне теоријске основе за израду докторске дисертације. Извори теоријских сазнања о предмету истраживања се могу поделити на:

- верификоване чињенице и научно истражене садржаје:
 - национална и европска регулатива,
 - дефиниције и услови појединих стандарда зграда ниске потрошње енергије,
 - мере унапређења енергетских својстава породичних кућа широм света са одговарајућим студијама случаја,

- енергетска својства породичних кућа у Сомбору и Србији,
 - типологије породичних кућа у Сомбору и Србији формиране са аспекта енергетских својстава зграда и
 - унапређење енергетских својстава породичних кућа у Србији мерама које представљају део уобичајане праксе на домаћем тржишту и мерама које захтевају већи обим инвестиција,
- релативно познате али недовољно проверене садржаје:
 - мере за унапређење енергетских својстава породичних стамбених кућа ради задовољавања различитих стандарда зграда ниске потрошње енергије у Србији и
 - дефиниција зграде ниске потрошње енергије, дефиниција пасивне куће и дефиниција конвенционалне куће унапређене до стандарда куће ниске потрошње енергије изграђене у условима у Србији,
- недовољно познате и научно необрађене садржаје:
 - вредност енергије животног циклуса породичних кућа као и осталих типова зграда изграђених у Србији,
 - просечна потрошња оперативне енергије по 1 m² површине породичних кућа изграђених на подручју Сомбора,
 - вредности уграђене енергије у производњи грађевинских материјала, производа и система, карактеристичних за технологије производње у фабричким постројењима у Србији,
 - вредности уграђене енергије у поступке испоруке, уградње грађевинских материјала, производа и система, као и рушења зграда у Србији и
 - одсуство реалних примера постојећих породичних кућа у Србији које су прошле кроз процес унапређења енергетских својстава и испуниле захтеве за верификацију једног од стандарда зграда ниске потрошње енергије.

Временско одређење

Научно истраживање испитује породичне куће изграђене у три временска периода, од 1961. до 1970, од 1971. до 1980. и од 1981. до 1990. године. Временско одређење предмета истраживања се дефинише под претпоставкама да је животни век породичних кућа једнак и да се мере унапређења енергетских својстава породичних кућа примењују у блиској будућности. Другим речима, мере унапређења енергетских својстава се примењују 30, 40 и 50 година након изградње типичне породичне куће у Сомбору. Временска димензија анализе енергије животног века породичне куће је важна због трајања временских периода коришћења зграде пре и након унапређења, што узрокује различите односе између вредности уграђене и оперативне енергије.

Просторно одређење

Просторно одређење предмета истраживања подразумева град Сомбор као типичан град на територији Војводине.

Дисциплинарно одређење

Дисциплинарно одређење предмета истраживања обухвата области техничко-технолошких наука, архитектуре и урбанизма, грађевинарства, машинства и област заштите животне средине.

1.2. Проблем истраживања

Проблем научног истраживања је однос уграђене и оперативне енергије за одабране нивое унапређења енергетских својстава породичне куће. Обухват енергетских категорија уграђене и оперативне енергије се утврђује на основу структуре животног циклуса зграде:

- основне јединице система животног циклуса су узастопне и међусобно повезане фазе, од вађења сирових материјала из природне средине до одлагања компоненти зграде, а кључна фаза у истраживању је одржавање и унапређење енергетских својстава зграде,
- границе система су тачке где се сусрећу и повезују различити циклуси између производа, процеса и животне средине, а у истраживању су ове тачке означене терминима колевка, капија, грађевинска локација и гроб,
- енергетске категорије уграђене и оперативне енергије су најзначајнији елемент истраживања животног циклуса зграде а њима редом одговарају поткатегорије иницијалне, накнадне и енергије рушења, односно, оперативне енергије пре и након унапређења енергетских својстава зграде.

Обухват енергетских категорија уграђене и оперативне енергије у животном циклусу зграде је приказан у дијаграму 1.



Дијаграм 1. Структура животног циклуса зграде

У методолошком погледу, однос уграђене и оперативне енергије се успоставља применом модела за процену енергије животног циклуса породичне куће. Међународна истраживања су резултирала различитим математичким моделима за процену уграђене енергије чији су обухвати различити и међусобно неусклађени јер су се развијали појединачно и независно једни од других. Важно

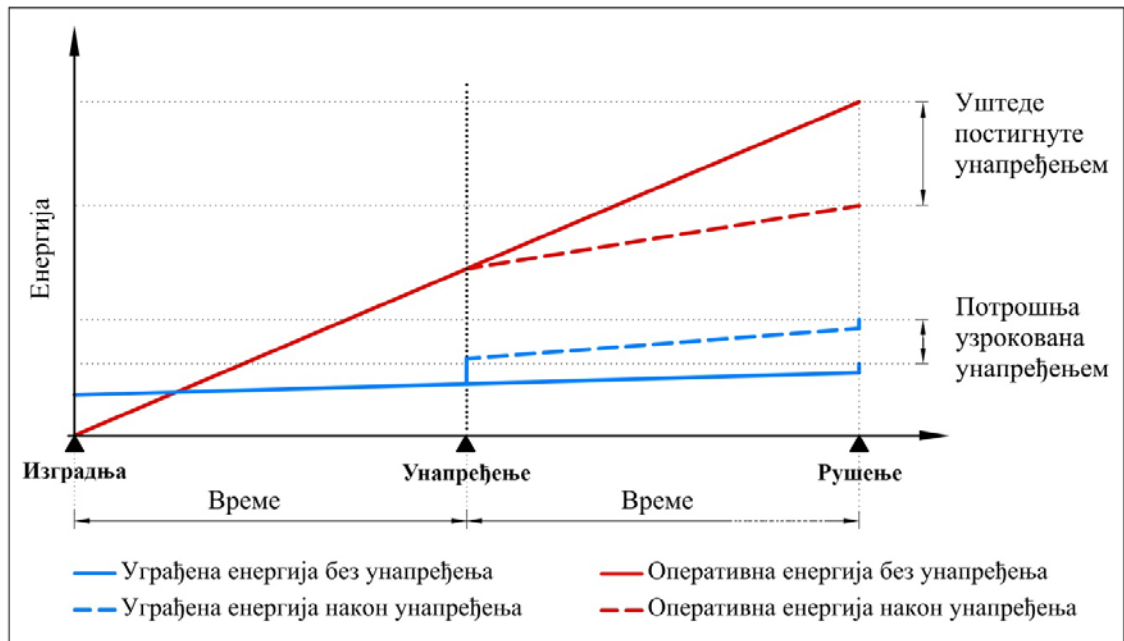
је напоменути да не постоје стандардизовани прорачуни уграђене и оперативне енергије, нити је усвојен јединствен модел за испитивање односа уграђене и оперативне енергије. До сада нису понуђене методологије за прорачун овог односа за специфичне услове грађевинске праксе у Србији.

Уграђена енергија нема јединствену стандардизовану методологију квантификације и из овог разлога је актуелан предмет дебате у научним круговима. У Србији нису спровођена истраживања и мерења уграђене енергије у различитим фазама животног циклуса зграде, па се наведени подаци уз одговарајуће анализе преузимају од институција и научноистраживачких организација из иностранства. Подаци две иностране базе података се често употребљавају у проценама уграђене енергије зграда: Екоинвент (Ecoinvent Centre, 2015) и ICE (енг. Inventory of Carbon and Energy) (Hammond, Jones, 2011). Преузимају се два типа података, количина енергије за производњу јединичне мере грађевинског материјала, производа или система у оквиру границе система од колевке до капије, и количина енергије за транспорт 1 тоне грађевинских материјала, производа и система за пређену дистанцу пута од 1 километра. Из домаћих извора се преузимају подаци о теоријским и практичним нормативима учинка грађевинских машина.

Оперативна енергија пре унапређења енергетских својстава се утврђује на основу месечних извештаја о потрошњи енергије и разговора са станарима зграде. Оперативна енергија пре и након унапређења породичне куће се процењују компјутерском симулацијом потрошње енергије. Енергетска својства зграда у Србији се тренутно исказују потребном топлотом за грејање на основу које се издаје сертификат о енергетским својствима зграда. Очекује се да ће се издавање овог сертификата вршити на основу укупне потребне енергије, по усвајању националног програма за њен прорачун. У овом истраживању, компјутерска симулација потрошње оперативне енергије зграде се спроводи програмом РНРР (Feist et al., 2013) који се примењује за верификацију и сертификацију зграда изграђених према стандарду без обавезе примене пасивна кућа (нем. Passivhaus).

Однос уграђене и оперативне енергије у животном циклусу породичне куће на коју су примењене мере унапређења енергетских својстава је специфичан. Високи ниво енергетске ефикасности постојеће зграде се постиже применом сета мера унапређења, нпр. додавањем слоја термоизолације на топлотни омотач, применом високотехнолошке фасадне столарије, инсталацијом енергетски ефикасних термотехничких система, уградњом система који производе енергију из обновљивих извора и др. Константне технолошке иновације су одговорне за усложњавање производних процеса наведених компоненти зграде, због којих се повећава њихова уграђена енергија. Грађевински материјали, производи и системи комплексних технолошких процеса производње током којих се троше високе вредности енергије се називају енергетски интензивни. Већина поступака унапређења енергетских својстава куће обухвата њихову употребу. Да би кућа током свог преосталог животног века задржала висок ниво енергетске ефикасности, након истека животног века уграђених компоненти, неопходна је њихова замена. Умножавање вредности уграђене енергије током производње, транспорта, уградње и елиминације компоненте се дешава онолико пута колико се понови поступак замене компоненти у животном веку куће. Број циклуса замене зависи од дужине животног века компоненте и дужине временског периода предвиђеног преосталим животним веком куће, од унапређења до рушења. Другим речима, временско одређење тачке у животном веку у којој се спроводи унапређење, утиче на број циклуса замене компоненте и на укупну вредност уграђене енергије у породичну кућу.

Однос уграђене и оперативне енергије током животног циклуса куће на коју су примењене мере унапређења је приказан на дијаграму 2.



Дијаграм 2. Однос уграђене и оперативне енергије у животном циклусу зграде на коју су примењене мере унапређења енергетских својстава

Уградња енергетски интензивних компоненти у поступку унапређења потенцијално може да повећа вредност уграђене енергије куће толико да она буде већа од постигнутих уштеда у оперативној енергији. Унапређења теоријски могу да резултују већом вредношћу енергије животног циклуса куће, у поређењу са вредношћу за непромењена енергетска својства куће, на коју се до завршетка циклуса примењују само мере одржавања. Наведени однос уграђене и оперативне енергије и повећање енергије животног циклуса, по истеку претпостављеног животног века, јасни су показатељи да ниво унапређења енергетских својстава куће није оправдан са енергетског аспекта.

1.3. Циљ истраживања

У складу са изнетим научним поставкама о предмету и проблему истраживања, дефинисани су следећи циљеви:

- научно описивање методолошког поступка процене уграђене и оперативне енергије током животног циклуса породичних кућа на које су примењени поступци унапређења енергетских својстава,
- испитивање односа уграђене и оперативне енергије на типичну породичну кућу у Сомбору:
 - анализа енергетске потрошње варијанти куће чија енергетска својства остају непромењена и три нивоа унапређења која испуњавају услове о енергетској ефикасности из националне и европске регулативе и стандарда без обавезе примене о зградама ниске потрошње енергије,
 - анализа енергетске потрошње варијанти куће изграђене у временским периодима од 1961. до 1970, од 1971. до 1980. и од 1981. до 1990. године, односно, чији временски периоди пре и након унапређења енергетских својстава у животном веку куће износе 30 и 70, 40 и 60, и 50 и 50 година,
- образложење добијених резултата и указивање на рационалност унапређења одабраних варијанти типичне породичне куће.

1.4. Задаци истраживања

На основу постављених циљева, дефинисани су задаци научног истраживања:

- анализа регулативе о енергетској ефикасности зграда у Србији и ЕУ и приказ релевантних концепата зграда ниске потрошње енергије,
- анализа структуре животног циклуса зграда која обухвата фазе, енергетске категорије и границе система; испитивање

- методолошких поступака за процену уграђене енергије (математички модели и иностране базе података) и оперативне енергије (компјутерска симулација енергетске потражње),
- утврђивање специфичности и конципирање претпоставки за омогућавање процене енергије животног циклуса породичне куће изграђене у Србији,

 - приказ типологије породичних кућа у Сомбору и одабир реалног примера типичне породичне куће која се сматра референтним моделом за научно истраживање,

 - дефинисање нивоа унапређења енергетских својстава породичне куће на основу комбиновања итерација активних и пасивних мера, и спровођење одговарајућих компјутерских симулација потрошње оперативне енергије,

 - одабир три кључне варијанте унапређења енергетских својстава породичне куће које испуњавају одабране услове о енергетској ефикасности из националне и европске регулативе и стандарда без обавезе примене о зградама ниске потрошње енергије,

 - примена методолошког поступка за процену енергије животног циклуса на одабране варијанте типичне породичне куће,

 - за три нивоа унапређења енергетских својстава и три временска периода њихове примене у животном веку одабраних варијанти типичне куће у Сомбору, приказ и анализа:
 - односа укупних и годишњих вредности уграђене и оперативне енергије,
 - односа потрошње уграђене енергије и уштеда у оперативној енергији,
 - годишњих вредности енергије животног циклуса.

1.5. Хипотезе истраживања

У складу са изнетим научним поставкама о предмету, проблему и циљевима истраживања, дефинисана је општа хипотеза:

X1: Утврђен методолошки поступак идентификује однос уграђене и оперативне енергије током животног циклуса породичних кућа на које се примењују мере унапређења енергетских својстава.

Из основне научне хипотезе проистиче посебна хипотеза:

X2: Постиге се рационалан однос уграђене и оперативне енергије у животном циклусу породичних кућа у Сомбору изграђених у временском периоду од 1961. до 1990. године, чија су енергетска својстава унапређена са циљем испуњавања:

- минималних услова регулативе о енергетској ефикасности зграда у Републици Србији,
- одабраних услова о енергетској ефикасности зграда, утврђених необавезним стандардима зграда ниске потрошње енергије и
- одабраних услова о енергетској ефикасности зграда у Европској Унији, утврђених дефиницијама зграда близу нулте енергије.

1.6. Научне методе истраживања

Метод анализе садржаја референтне литературе формира теоријску основу за научно истраживање на следеће начине: садржај писаних извора се критички разматра и евидентира; спроводи се интерпретација основних теоријских појмова и утврђују се преводи појединих термина са енглеског језика (нпр. називи граница система животног циклуса); врши се систематизација и упоредна анализа информација о енергетским својствима зграда и енергетској потрошњи током дела или целог животног циклуса.

Методе на којима се заснива методолошки поступак за утврђивање односа уграђене и оперативне енергије породичних кућа су оцена животног циклуса (енг. life cycle analysis - LCA) и анализа енергије животног циклуса (енг. life cycle energy analysis - LCEA). Математички модел за процену уграђене енергије се формира на основу анализе структуре животног циклуса породичне куће, упоредног приказа и анализе постојећих математичких модела и иностраних база са систематизованим бројчаним вредностима о уграђеној енергији. Процена оперативне енергије током једне типичне године пре унапређења породичне куће се врши на основу месечних извештаја о потрошњи енергије и информација добијених интервјуисањем станара и пописом уређаја за домаћинство. Процена оперативне енергије пре и након унапређења се врши применом симулационог експеримента. Компјутерским програмом PHPP се предвиђају својства зграде што приближнија стварном окружењу и врши се симулација различитих видова енергетске потрошње.

Метод студије случаја подразумева анализу одабраног примера типичне породичне куће у Сомбору. Типична кућа се у истраживању сматра референтним моделом на који се примењују хипотетичке мере унапређења својстава топлотног омотача и мере унапређења применом техничких система који смањују топлотне губитке и производе енергију из обновљивих извора. Пасивне и активне мере су рашчлањене на итерације, чијим комбиновањем се формирају нивои унапређења енергетских својстава. Низ нивоа унапређења енергетских својстава се примењује на референтну кућу чиме се формира низ случајева куће. Компјутерским симулацијама потрошње енергије у низу случајева куће се добијају резултати о различитим видовима потрошње оперативне енергије. Компарација резултата за низ случајева куће се илуструје дијаграмима. Утврђују се случајеви куће унапређених енергетских својстава који испуњавају одабране услове енергетске ефикасности из националне и европске регулативе и стандарда без обавезе примене о зградама ниске потрошње енергије. Бирају се три кључна нивоа унапређења типичне куће у Сомбору.

Методолошки поступак за утврђивање односа уграђене и оперативне енергије породичних кућа се примењује на тичину породичну кућу у Сомбору. Анализира се дванаест варијанти породичне куће: једна варијанта куће постојећих и три варијанте куће унапређених енергетских својстава и њихове подваријанте утврђене у зависности од три временска периода примене већине мера одржавања и мера унапређења енергетских својстава у животном веку куће. Компаративном анализом се пореде и интерпретирају резултати кумулативних и ануализованих вредности уграђене, оперативне и енергије животног циклуса куће и изводе се закључци о рационалности унапређења и односу између уграђене и оперативне енергије.

1.7. Научна оправданост, резултати и практична примена резултата

Процена потрошње енергије током целог животног циклуса зграда до сада није била предмет научног истраживања у Србији. Методологије за спровођење оваквих процена нису стандардизоване, а доступни подаци за њихову примену у Србији су ограничени. Методологије се такође нису посебно развијале за зграде на које се примењују мере унапређења енергетских својстава, а које узрокују промену односа у вредностима уграђене и оперативне енергије. У овом контексту, оправданост научног истраживања се заснива на његовој оригиналности и јединствености.

Резултат научног истраживања је математички апарат који успоставља однос између уграђене и оперативне енергије током предвиђеног животног циклуса породичних кућа за које се предвиђа поступак унапређења. Математички апарат се проверава применом на реалан пример типичне породичне куће у Сомбору. Истраживање потврђује или оповргава рационалност унапређења њених енергетских својстава ради испуњавања одабраних услова енергетске ефикасности преузетих из националне и европске регулативе и одабраних услова преузетих из стандарда без обавезе примене о згради ниске потрошње енергије.

Модели за процену уграђене енергије зграда су развијани у научноистраживачким институцијама које су независне једне од других, што је изазвало неусклађеност између њихових математичких једначина, варијабли и мерних јединица. Њихова анализа доприноси утврђивању методолошког процеса који обухвата математичке моделе и инвентаре за процене уграђене енергије током производње, транспорта, уградње и рушења грађевинских материјала, производа и система породичних кућа у Србији. Истраживање указује на неопходност континуалног праћења уграђене енергије од стране домаће грађевинске индустрије и подстиче даљи развој науке јер обухвата низ мултидисциплинарних активности. Поред области архитектуре, мерења уграђене енергије захтевају укључивање институција и знања из области грађевинарства, машинства, технологија, заштите животне средине и др.

Анализа регулативе у Србији и ЕУ указује на неопходност усвајања националног програмског пакета за прорачун укупне оперативне енергије у зградама, као и детаљног утврђивања стандарда зграде ниске потрошње енергије одговарајућег за специфичности грађевинске праксе у Србији. Истиче се потреба за развијањем појединачних услова о енергетској ефикасности зграде близу нулте енергије (енг. nearly zero energy building - NZEB) посебно за нове и постојеће зграде. Резултат научног истраживања је подстицај развоја националне и европске регулативе доказивањем значаја уграђене енергије у животном циклусу породичних кућа које се унапређењем верификују као зграде ниске потрошње енергије. Подстицај развоја регулативе се односи на развој и стандардизацију методологија мерења енергије животног циклуса зграда, односно, на укључивање уграђене енергије као показатеља енергетске ефикасности зграда.

Практична примена резултата научног истраживања се препознаје кроз доступност утврђеног методолошког поступка и математичког модела стручној и научној јавности. Стручњаци у грађевинској индустрији Србије, који раде на унапређењу стамбеног фонда, могу да сагледају резултате о потрошњи уграђене енергије и резултујућим уштедама у оперативној и енергији животног циклуса за различите нивое унапређења енергетских својстава породичне куће, и да их идентификују као значајан параметар за одабир одговарајућих мера унапређења.

1.8. Преглед садржаја дисертације

Докторска дисертација садржи девет поглавља, пре којих се наводе апстракт, садржај, појмовник, скраћенице и симболи, а након којих се наводе прилози, попис дијаграма, табела и слика, литература, биографија и изјаве аутора. Друго, треће и четврто поглавље се усредсређују на теоријске податке, пето и шесто поглавље на предмет истраживања, седмо и осмо поглавље на проблем истраживања, а девето поглавље износи закључке и могуће правце будућих истраживања.

Након уводног поглавља које дефинише елементе докторске дисертације, друго поглавље идентификује документе националне и европске регулативе којима се са различитих аспеката третира побољшање енергетске ефикасности у зградарству. Излажу се дефиниције зграда ниске потрошње енергије. Треће поглавље приказује структуру животног циклуса зграде, објашњава фазе, категорије енергије и границе система животног циклуса. Поглавље аргументује да се однос уграђене и оперативне енергије у животном циклусу зграде мења након примене поступака унапређења енергетских својстава зграде. Четврто поглавље износи теоријске поставке за процену енергије животног циклуса породичне куће у Србији. Анализа методолошких процеса обухвата компарацију две иностране базе података о уграђеној енергији, систематизацију постојећих математичких модела за њену процену, конципирање неопходних претпоставки и систематизацију података за компјутерску симулацију потрошње оперативне енергије у згради.

Пето поглавље систематизује податке о породичном стамбеном фонду у Сомбору и Србији као и о типичној и одабраној референтној кући у Сомбору. Образлаже се формирање нивоа унапређења комбиновањем итерација одабраних пасивних и активних мера унапређења енергетских својстава референтне куће. Шесто поглавље излаже резултате о оперативној енергији куће након примене бројних нивоа унапређења, и приказује њихове илуструје дијаграмима. Утврђују се три карактеристична нивоа унапређења енергетских својстава референтне куће, на основу испитивања испуњености одабраних услова енергетске ефикасности

преузетих из националне и европске регулативе, и стандарда без обавезе примене – пасивна кућа.

Седмо поглавље излаже модел за процену енергије животног циклуса породичне куће на коју се примењују поступци унапређења. Модел се састоји од пет парцијалних модела за поткатогије енергије, са математичким једначинама и инвентарима животног циклуса. Осмо поглавље сумира резултате примене утврђеног математичког модела на типичну породичну кућу у Сомбору и утврђује однос између уграђене и оперативне енергије породичне куће постојећих и унапређених енергетских својстава. Резултати су приказани са аспекта одабраних нивоа унапређења и временског одређења њихове примене у животном циклусу куће.

Девето поглавље закључује истраживање образлажући испуњеност циљева и задатака и потврђујући постављене хипотезе. Излажу се правци будућих истраживања у оквиру проблематике мерења уграђене и оперативне енергије зграда и примене утврђеног модела за процену енергије животног циклуса зграда.

2. ЕНЕРГЕТСКА ЕФИКАСНОСТ И СТАМБЕНИ СЕКТОР

2.1. Потрошња енергије у стамбеном сектору у Европи и Србији

Према подацима са интернет сајта Европске комисије, грађевински сектор у Европи је тренутно одговоран за 40% укупне потрошње финалне енергије и 36% емисије гасова који узрокују ефекат стаклене баште (European Commission [EC], n.d.). Земље чланице ЕУ се боре са загађењем животне средине постављајући циљеве за уштеде у потрошњи енергије и емисије штетних гасова. У односу на вредности из 1990, земље чланице су се обавезале на 20% повећања енергетске ефикасности које је потребно остварити до 2020. године (ЕС, 2010) и 85 до 90% смањења емисије гасова са ефектом стаклене баште до 2050. године (ЕС, 2011). Стопа раста грађевинског фонда у земљама чланицама ЕУ, Швајцарској и Норвешкој износи око 1%. Већина постојећих зграда ће бити у употреби 2020. односно 2050. године, које су наведене као временске одреднице за испуњење циљева повећања енергетске ефикасности и смањења емисија штетних гасова (Buildings Performance Institute Europe [BPIE], 2011).

Грађевински сектор у Србији има растуће потребе за енергијом која већим делом потиче из необновљивих извора енергије (фосилна горива: нафта, угаљ и природни гас) чијим се сагоревањем ослобађају штетни гасови и доприноси загађењу животне средине и процесу климатских промена (Министарство рударства и енергетике [МРЕ], 2015). *Протокол из Кјота* је међународни споразум уз *Оквирну конвенцију Уједињених Нација о климатским променама* (енг. Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change) који обавезује земље потписнице да стабилизују емисије гасова стаклене баште (United Nations [UN], 1998). Иако је формално прихватила протокол 2007, Србија није усвојила националну стратегију за смањење емисија гасова стаклене баште.

Енергетска ефикасност у стамбеном сектору у Србији је на знатно нижем нивоу у односу на земље чланице ЕУ. Становање је сектор који је одговоран за трећину укупне потрошње финалне енергије у Србији (МРЕ, 2015). Постојеће породичне стамбене куће углавном не задовољавају минималне захтеве за енергетском ефикасношћу дефинисане *Правилником о условима, садржини и*

начину издавања сертификата о енергетским својствима зграда (МГСИ, 2012) јер је велики број кућа подигнут без неопходне техничке документације и без поштовања прописа везаних за топлотну заштиту зграда који су дефинисани *Правилником о енергетској ефикасности зграда* (МГСИ, 2011). Због овакве изградње, енергетска својства топлотног омотача зграда временом опадају, а због неадекватне топлотне изолације представљају значајан проблем у погледу прекомерне потрошње енергије. Максимална дозвољена вредност потрошње финалне енергије за грејање нових стамбених зграда са једним станом износи 75 kWh/(m²·a), а након унапређења постојеће зграде реконструкцијом, обновом, адаптацијом, санацијом или енергетском санацијом, потрошња енергије мора бити побољшана најмање за један енергетски разред (МГСИ, 2012).

Не постоје прецизни и поуздани подаци о томе колики је удео потрошње испоручене енергије у породичним кућама у односу на целокупну потрошњу у Србији, нити појединачни подаци везани за потрошњу енергије за грејање и хлађење, припрему санитарне топле воде, коришћење електричних уређаја и осветљење. Доступни подаци се односе на целокупни сектор зградарства. Просечна годишња потрошња топлоте у постојећим зградама у Србији је два до три пута већа у поређењу са новим зградама (МРЕ, 2013). Додатно, просечна специфична финална потрошња енергије која се троши за грејање и припрему СТВ у зградама у Србији се процењује на око 220 kWh/m² (МРЕ, 2013) и варира у зависности од примењеног система грејања². Према подацима из 2007. године, средња годишња специфична потрошња топлоте за грејање простора и припрему санитарне топле воде по јединици корисне површине у Србији износи 228 kWh/m² док је податак за ЕУ једнак 138 kWh/m² (МРЕ, 2007).

Европска комисија наводи да се „већина потенцијала за уштеду енергије налази у грађевинском сектору” (ЕС, 2014а, р. 12). Унапређење енергетских својстава зграда у ЕУ је значајно за постизање циљева побољшања енергетске

² Код стамбених зграда у Србији, средња годишња специфична потрошња финалне енергије за припрему санитарне топле воде износи 55 kWh/m², а за грејање из локалних котларница 171 kWh/m².

Средња годишња специфична потрошња финалне енергије за грејање објекта зависи од система грејања и износи: за грејање електричном енергијом 130 kWh/m², за грејање природним гасом 230 kWh/m², и грејање из локалних пећи на чврста горива износи 57 kWh/m² (МРЕ, 2013).

ефикасности постављених *Стратегијом за паметни, одрживи и инклузивни раст* (енг. A Strategy for Smart, Sustainable and Inclusive Growth) (ЕС, 2010) и *Планом за прелазак на економију са ниском емисијом угљеника 2050. године* (енг. A Roadmap for Moving to a Competitive Low Carbon Economy in 2050) (ЕС, 2011). Из овог разлога земље чланице ЕУ су обавезане *ревидираном EPBD Директивом* да од „31. децембра 2020. све нове зграде буду зграде близу нулте енергије; и након 31. децембра 2018. нове зграде у којима су смештене или које су у власништву јавних служби, буду зграде близу нулте енергије” (EPCEU, 2010, р. 21). *Директива* налаже чланицама ЕУ да формирају националне планове за повећање броја оваквих зграда и да „развију политике и примене мере као што је постављање циљева како би стимулисале трансформацију зграда које се унапређују у зграде близу нулте енергије” (EPCEU, 2010, р. 12).

Зграда близу нулте енергије NZEB спада у зграде високих перформанси, прецизније речено, у зграде ниске потрошње енергије. *Правилник о енергетској ефикасности зграда* не садржи дефиницију NZEB зграде, већ нуди сажету дефиницију пасивне зграде која такође спада у зграде ниске потрошње енергије. *Правилник* наводи „пасивна зграда је зграда у којој годишња потрошња енергије за грејање по јединици корисне површине не прелази 15 kWh/m²” (МГСИ, 2011, стр. 5) . Пошто је Србија кандидат за чланство у ЕУ, очекује се хармонизација домаће и европске регулативе из области енергетске ефикасности у зградарству. Као резултати припрема за припајање ЕУ, предвиђају се утврђивање NZEB дефиниција, развијање националних планова, политика и мера за промовисање и стимулацију унапређења енергетских својстава постојећих зграда, њихово образлагање и имплементација у грађевинску праксу. Испитивање унапређења енергетских својстава породичних кућа у Србији се сматра изузетно значајним, првенствено до нивоа који би задовољио захтеве постављене националном регулативом, а потом и до нивоа нискоенергетских зграда, којима припадају NZEB (EPCEU, 2010) и пасивна зграда (МГСИ, 2011).

2.2. Регулатива о енергетској ефикасности у зградарству

Третман енергетских својстава зграда у прописима и важним документима у Србији и ЕУ су образложени у наредном тексту. Идентификовани су делови прописа који се односе на циљеве унапређења енергетске ефикасности зграда, минималне захтеве енергетске ефикасности и одговарајуће грађевинске и друге радове за њихово постизање. Сумиране информације представљају теоријску основу за формирање нивоа и мера унапређења породичних кућа у Сомбору.

2.2.1. Регулатива о енергетској ефикасности зграда у Србији

Регулатива о енергетској ефикасности зграда у Србији, планови, стратегије и други домаћи извори су:

- *Национална стратегија одрживог развоја* (Влада Републике Србије [ВРС], 2008),
- *Закон о планирању и изградњи* (МГСИ, 2009) и *Закон о изменама и допунама Закона о планирању и изградњи* (МГСИ, 2014),
- *Правилник о енергетској ефикасности зграда Републике Србије* (МГСИ, 2011),
- *Правилник о условима, садржини и начину издавања сертификата о енергетским својствима зграда Републике Србије* (МГСИ, 2012),
- *Закон о ефикасном коришћењу енергије* (МРЕ, 2013),
- *Стратегија развоја енергетике Републике Србије до 2015. године* (МРЕ, 2005),
- *Нацрт Стратегије развоја енергетике републике Србије до 2025. године са пројекцијама до 2030. године* (МРЕ, 2015),
- *Први акциони план енергетске ефикасности Републике Србије за период од 2010. до 2012. године* (МРЕ, 2010),
- *Други акциони план за енергетску ефикасност Републике Србије за период од 2013. до 2015. године* (МРЕ, 2013) и
- *Национални акциони план за коришћење обновљивих извора енергије у Републици Србији* (МРЕ, 2013а).

Национална стратегија одрживог развоја (ВРС, 2008) дефинише повећање енергетске ефикасности као један од приоритета за успостављање одрживог развоја земље. Стратегија наводи да се потенцијал за повећање енергетске ефикасности процењује на више од 50% и подразумева смањење потрошње топлоте за грејање. Мере за реализацију наведених процена обухватају побољшање изолације у зградама и смањење броја домаћинстава које за грејање користе електричну енергију. Циљ *Стратегије* је да се енергетско законодавство и његова примена у грађевинској пракси у Србији, која подразумева енергетску ефикасност зграда и обновљиве изворе енергије, доведе у оквире међународних стандарда, односно, стандарда ЕУ.

Закон о изменама и допунама Закона о планирању и изградњи (МГСИ, 2014) се односи на уређивање простора и грађевинског земљишта и изградњу зграда. *Закон* у Члану 4 *Уређење енергетске ефикасности* дефинише значајне термине, међу којима се издвајају унапређење енергетске ефикасности објеката и унапређење енергетске ефикасности и енергетска својства зграда. „Унапређење енергетске ефикасности је смањење потрошње свих врста енергије, уштеда енергије и обезбеђење одрживе градње применом техничких мера, стандарда и услова планирања, пројектовања, изградње и употребе зграда и простора (...) Енергетска својства зграда јесу стварно потрошена или прорачуната количина енергије која задовољава различите потребе које су у вези са стандардизованим коришћењем, а односе се нарочито на енергију за грејање, припрему топле воде, хлађење, вентилацију и осветљење” (МГСИ, 2014, стр. 7) . *Закон о планирању и изградњи* (МГСИ, 2009) представља основу за усвајање докумената као што су *Правилник о енергетској ефикасности зграда* (МГСИ, 2011) и *Правилник о условима садржини и начину издавања сертификата о енергетским својствима зграда* (МГСИ, 2012).

Правилник о енергетској ефикасности зграда (МГСИ, 2011) се примењује у области унапређења постојећих породичних кућа за реконструкцију, доградњу, обнову, адаптацију, санацију и енергетску санацију. *Правилник* садржи основне податке о ваздушном, топлотном, светлосном и звучном комфору као и референтне климатске податке и препоручене вредности улазних параметара за

прорачун енергетских својстава зграда. Правилник пружа методологију за одређивање годишње потребне енергије за грејање, укупне годишње финалне и примарне енергије и годишње емисије угљен-диоксида.

Правилник наводи да је зграда енергетски ефикасна уколико су испуњени минимални услови комфора и уколико потрошња енергије за грејање, хлађење, припрему СТВ, вентилацију и осветљење не прелази дозвољене максималне вредности. Услови комфора су они услови у којима се особа осећа угодно, а односе се на топлотни, ваздушни, визуелни и звучни комфор. Највећи утицај на унапређење енергетских својстава породичних кућа има топлотни комфор, који подразумева оно психолошко стање особе, које одговара угодном осећају топлотних услова у простору, другим речима, којима је постигнута топлотна равнотежа организма. Објективни параметри топлотног комфора обухватају температуру ваздуха, температуру околних површина, брзину кретања и влажност ваздуха. Након унапређења породичне куће, а у складу са *Правилником*, неопходно је обезбедити да се температуре у згради одржавају у границама комфора. Правилник наводи податке о добицима топлоте од људи и електричних уређаја, према стандарду SRPS EN ISO 13790, приказане у прилогу А, табели 29.

Подаци из *Правилника* који представљају основ за формирање првог нивоа унапређења енергетских својстава породичних кућа у Сомбору, спровођење компјутерске симулације потрошње оперативне енергије након унапређења и за прорачун потрошње примарне енергије куће такође обухватају:

- податке који се односе на стамбене зграде са једним станом:
 - дозвољена максимална годишња потрошња финалне енергије за грејање стамбене зграде са једним станом, $Q_{H,nd,max} = 75 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,
 - унутрашња пројектна температура за зимски период $\theta_i = 20^\circ\text{C}$,
 - и унутрашња пројектна температура за летњи период $\theta_i = 26^\circ\text{C}$,

- климатске карактеристике за град Сомбор³:
 - спољна пројектна температура за период грејања $\theta_{He} = -15,1^{\circ}\text{C}$,
 - број степен дана за грејање $\text{HDD} = 2850$,
 - број дана грејне сезоне $\text{HD} = 190$ и
 - средња температура грејног периода $\theta_{H,\text{mn}} = 5^{\circ}\text{C}$,

- препоручене вредности улазних параметара за прорачун енергетских својстава постојећих породичних зграда. Највеће дозвољене вредности коефицијента пролаза топлоте за елементе топлотног омотача постојеће зграде након реновирања, санација и реконструкција, приказане су у прилогу А, табели 30,

- параметре за прорачун топлотних својстава нетранспарентних елемената топлотног омотача зграде и топлотна својства транспарентних елемената топлотног омотача зграде:
 - нетранспарентни елементи:
 - отпор прелазу топлоте грађевинских елемената $R [\text{m}^2\text{K}/\text{W}]$,
 - фактор корекције температуре грађевинских елемената F_{xi} и
 - топлотна проводљивост грађевинских материјала и производа $\lambda [\text{W}/(\text{m}\cdot\text{K})]$,

 - транспарентни елементи:
 - коефицијент пролаза топлоте за стакло $U_g [\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})]$,
 - пропустљивост сунчеве енергије стакла g ,
 - коефицијент пролаза топлоте за оквир $U_f [\text{W}/(\text{m}^2\cdot\text{K})]$ и
 - коефицијент корекције температуре за топлотне мостове између оквира и стакла ψ_g ,

- факторе претварања за рачунање годишње примарне енергије за поједине врсте извора топлоте, приказане у прилогу А, табели 31.

³ *Правилник* такође наводи средње месечне суме сунчевог зрачења и средње месечне температуре спољног ваздуха, једнаке за све локације на територији Србије (МГСИ, 2011, стр. Прилог 6, Табела 6.9). О климатским подацима за симулацију накнадне оперативне енергије породичне куће погледати одељак 3.2.2.

Правилник о условима, садржини и начину издавања сертификата о енергетским својствима зграда наводи податке о елаборату енергетске ефикасности и енергетском пасошу, обавезном делу техничке документације нових и постојећих зграда које се реконструишу, адаптирају, санирају или енергетски санирају. Израдом елабората о енергетској ефикасности се прорачунава енергетски разред зграде и проверава испуњење захтева за енергетском ефикасношћу. Пошто још није усвојен национални компјутерски програм за прорачун показатеља енергетске ефикасности, прорачун енергетског разреда се врши на основу релативне вредности годишње потрошње финалне енергије за грејање [%]. Вредност годишње потребне топлоте за грејање $Q_{H,nd}$ [kWh/(m²·a)] се пореди са максимално дозвољеном вредношћу $Q_{H,nd,max}$ [kWh/(m²·a)] а згради се додељује одговарајући енергетски разред. Максимална дозвољена годишња потрошња енергије за грејање постојећих стамбених зграда са једним станом износи 75 kWh/(m²·a) (МГСИ, 2011). Након усвајања програмског пакета, прорачун потрошње енергије ће се осим за грејање спроводити и за хлађење, припрему СТВ, вентилацију и осветљење. *Правилник* дефинише осам енергетских разреда, од најнижег *G* до највишег *A+*. Прописано је да новоизграђене зграде морају да испуне минималне захтеве који су дефинисани енергетским разредом *C*, а да постојећа зграда након обимније обнове мора бити унапређена најмање један енергетски разред. *Правилник* наводи граничне вредности за одређивање енергетских разреда постојећих стамбених зграда са једним станом, приказаних у прилогу А, табели 32.

Закон о ефикасном коришћењу енергије (МРЕ, 2013) је основни акт којим се, између осталог, уређују услови и начин ефикасног коришћења енергије и енергената у секторима производње, преноса, дистрибуције и потрошње енергије. Предмет истраживања, породичне стамбене куће односно домаћинства, сврстава се у оквир сектора потрошње енергије. *Закон* дефинише термине као што су енергетска ефикасност, ефикасно коришћење енергије, мере за побољшање енергетске ефикасности и др. *Закон* дефинише мере за побољшање енергетске ефикасности као „све активности и радње које доводе до проверљивог и мерљивог или процењивог повећања енергетске ефикасности у секторима производње, преноса, дистрибуције и потрошње енергије” (МРЕ, 2013, стр. 5). *Законом* се у

области енергетске ефикасности објеката, односно делова објеката, уређује обавеза вршења енергетског прегледа објеката са корисном површином већом од 500 m² и објеката сврстаних у један од енергетских разреда. За ове објекте обавезно је спровођене енергетског прегледа и израда извештаја овог поступка који садржи информацију о његовој енергетској ефикасности.

Нацрт Стратегије развоја енергетике Србије до 2015. године са пројекцијама до 2030. године (МРЕ, 2015) пружа два сценарија развоја сектора енергетике приказом потрошње финалне енергије у Србији. Први, референтни, сценарио приказује енергетску потрошњу 2030. године под претпоставком да се досадашња пракса у потрошњи и производњи енергије неће мењати. Пројекције укупне потрошње енергије у односу на стање 2010. указују на повећање за 10,1% до 2020, односно 18% до 2025. године. Други, сценарио са максималном применом мера енергетске ефикасности, приказује 1% повећања током првог временског периода, односно 6,6% до краја другог. Развој земље ће, према подацима сценарија, довести до повећања потрошње финалне енергије, а према Предлогу *Нацрта Стратегије* „...неопходно је интензивном применом мера и поступака за повећање енергетске ефикасности обезбедити да показатељи енергетског интензитета (...) теже просечним вредностима у земљама Европске Уније” (МРЕ, 2015, стр. 17). Прецизније, подаци *Нацрта Стратегије* у сектору домаћинства по референтном сценарију, показују пораст потрошње финалне енергије од 6,4% у 2030. у односу на 2010, односно, смањење за 1,1% до 2030. године по сценарију са применом мера енергетске ефикасности.

Укупна потрошња финалне енергије у Србији, према мерењима извршеним 2010. године, износила је 9,696 милиона t_{ен}, од чега домаћинства троше 32,5%. Важно је напоменути да оба сценарија предвиђају повећање удела ОИЕ до 2020. од 27% у бруто потрошњи финалне енергије, што такође одговара подацима *Националног акционог плана за обновљиве изворе енергије* (МРЕ, 2013). У сектору домаћинства се предвиђа смањење коришћења угља, деривата нафте и електричне енергије, а повећање потрошње природног гаса и посебно ОИЕ. Производња енергије ће се усмеравати ка коришћењу локално расположивих ОИЕ што за

територију Војводине, односно северозападне Србије, између осталог, подразумева биомасу, енергију Сунца и геотермалну енергију:

- у Србији биомаса има заступљеност од 61% укупних потенцијала ОИЕ. За регион Војводине карактеристична је пољопривредна биомаса, која обухвата остатке у ратарству, сточарству, воћарству, виноградарству и примарној преради воћа. Према подацима *Стратегије*, степен искоришћења биомасе износи око 2%, док њен неискоришћен потенцијал износи 1,67 милиона t_{en} , од укупно 3,682 милиона t_{en} ОИЕ,
- енергија Сунца подразумева енергетски потенцијал земље који се користи за производњу топлоте и електричне енергије. *Стратегија* износи податке о просечном интензитету сунчевог зрачења који на северу земље током јануара износи од 1,1 kWh/m²/дан, а током јуна од 5,9 kWh/m²/дан. У северозападној Србији просечна вредност енергије зрачења износи 1200 kWh/m² годишње. Предвиђајући енергетски потенцијал за конверзију Сунчеве енергије у топлоту, *Стратегија* износи претпоставку да 50% расположивих зграда има уграђене топлотне колекторе сунчеве енергије, и податке о потенцијалној производњи топлоте од 0,194 милиона t_{en} годишње,
- геотермална енергија такође представља енергетски потенцијал у Србији, међутим, пошто је коришћење овог вида ОИЕ у зачетку, искоришћеност је веома скромна у поређењу са доступним ресурсима.

Први акциони план енергетске ефикасности РС за период 2010. до 2012. године (МРЕ, 2010) је формиран на основу европске *Директиве 2006/32/ЕС* (ЕРСЕУ, 2006). *План* предвиђа најмање 9% уштеде у потрошњи финалне енергије до 2018. године, у односу на остварену потрошњу у 2008. години. *Први акциони план* је такође предвидео остваривање 1,5% уштеде у потрошњи финалне енергије за период од 2010. до 2012. године. Међутим, реализована уштеда за овај период износи 1,22% односно 0,1023 Mt_{en}. У сектору домаћинства, планиране уштеде у периоду од 2010. до 2012. су износиле 0,0235 Mt_{en} али су остварене уштеде

износиле 83% од планиране вредности. У истом сектору, циљ за 2018. годину износи према *Првом акционом плану* 0,3031 Mt_{ен}, а према *Другом акционом плану* 0,2749 Mt_{ен}.

Други акциони план енергетске ефикасности РС за период 2013. до 2015. године (МРЕ, 2013) у сектору домаћинства наводи мере за унапређење енергетске ефикасности у зградама. Конкретне мере су разврстане у три групе у односу на то да ли припадају техничким, односно грађевинским радовима, регулативи или обавезним информационим мерама.

У групи техничких радова, мере унапређења енергетске ефикасности у домаћинствима значајне за истраживање обухватају:

- уштеду енергије за грејање и хлађење кроз активности:
 - побољшања или замене спољашњих прозора и врата и
 - постављање или побољшање постојеће топлотне изолације зидова, крова, таваница изнад отворених пролаза, зидова и подова на тлу, као и осталих зидова према негрејаном простору (омотач зграде),
- уштеду енергије за употребу система климатизације, грејања и хлађења путем коришћења:
 - ефикасних уређаја за климатизацију, грејање и хлађење са аутоматском регулацијом и др.
 - енергетски ефикасне опреме за сагоревање биомасе,
 - термо-соларних колектора (топлотних пријемника сунчеве енергије) и
 - ефикасних уређаја за грејање као што су топлотне пумпе.

У групи мера везаних за регулативу, за истраживање су значајне мере нових правила за пројектовање и изградњу зграда, минималних захтева у погледу енергетских својстава зграда и њихова сертификација у складу са *ревидираном EPBD Директивом*. Ове мере унапређења енергетске ефикасности обухватају:

- нове прописе о енергетским својствима зграда који уређују обавезно коришћење релевантних *ISO/EN* стандарда за енергетске перформансе зграда,
- стандарде за топлотне карактеристике зграда,
- остале стандарде у вези са пројектовањем зграда и њихових система за климатизацију, грејање и хлађење и
- енергетску сертификацију зграда.

У групи обавезних информационих мера, за истраживање је значајна мера промовисања коришћења енергетски ефикасних уређаја за домаћинства, која обухвата:

- смањење потрошње електричне енергије увођењем енергетски ефикасних уређаја за домаћинство (фрижидера, штедњака, машина за прање веша, машина за прање судова, клима уређаја, сијалица и др.).

2.2.2. Регулатива о енергетској ефикасности зграда у ЕУ

Регулатива о енергетској ефикасности зграда у ЕУ, стратегије и други инострани извори су:

- *Европа 2020. Стратегија за паметни, одрживи и инклузивни раст* (ЕС, 2010),
- *Директива о енергетској ефикасности 2012/27/EU* (ЕРСЕУ, 2012),
- *Директива о енергетским својствима зграда 2002/91/EC* (ЕРСЕУ, 2002),
- *Директива о енергетским својствима зграда 2010/31/EU* (ЕРСЕУ, 2010),
- *Извештај о напретку земаља чланица ка зградама скоро нулте енергије* (ЕС, 2013),
- *Преглед података о зградама скоро нулте енергије у земаљама чланицама* (ЕС, 2014),

- *Директива о промоцији коришћења енергије добијене из обновљивих извора 2009/28/ЕС* (ЕРСЕУ, 2009),
- *Директива о енергетској ефикасности крајњих корисника и енергетским сервисима 2006/125/ЕС* (ЕРСЕУ, 2006),
- *Директива о успостављању оквира за утврђивање захтева за еколошки дизајн производа који користе енергију 2009/125/ЕС* (ЕРСЕУ, 2009а) и
- *Прописи о грађевинским производима и одговарајућим декларацијама које произвођачи стављају на тржиште (ЕУ) No 305/2011* (ЕРСЕУ, 2011) и *(ЕУ) No 574/2014* (ЕС, 2014б).

Стратегија за паметни, одрживи и инклузивни раст (ЕС, 2010), документ такође познат под називом *Европа 20-20-20*, поставио је циљеве за временски период до 2020. године који обухватају 20% смањења емисије гасова који изазивају ефекат стаклене баште, 20% повећање удела ОИЕ у финалној потрошњи и 20% побољшања енергетске ефикасности, у односу на вредности из 1990. године. Међутим, Европска комисија је спровела анализе и извршила предвиђања на основу којих процењује да ће ЕУ у 2020. години постићи уштеде у потрошњи енергије око 18-19%, наводећи за разлог развој који је нижи од очекиваног због финансијске кризе (ЕС, 2014а).

Директива 2009/28/ЕС о промоцији коришћења енергије добијене из обновљивих извора (The European Parliament and the Council of the European Union, 2009) преузима циљ документа *Европа 20-20-20* везан за повећање удела ОИЕ до 2020. године и утврђује оквир за њену производњу и промоцију усредсређујући се на допринос успоравању процеса климатских промена, односно, промовишући смањење емисија штетних гасова. Земље чланице су у обавези да прорачунају националне циљеве за повећање удела енергије добијене из обновљивих извора у укупној потрошњи финалне енергије до 2020, и утврде неопходне мере за спровођење поступака који ће их остварити. Ови подаци чине један од веома значајних делова планова формираних на националним нивоима земаља чланица, који такође треба да поставе удео енергије из ОИ у сектор транспорта, као и

производњи електричне енергије за грејање за 2020. годину. Акциони план подлеже ефектима енергетски ефикасних мера за потрошњу финалне енергије, другим речима, промени односа енергетске потрошње и трансформације енергије из ОИ у топлоту или електричну енергију - што је смањење у потрошњи енергије веће то је мања количина обновљиве енергије потребна за испуњење националног циља. Планови такође утврђују процедуре за планирање и наплате као и приступ електродистрибутивним мрежама.

Директива 2012/27/EУ о енергетској ефикасности (ЕРСЕУ, 2012) износи мере којима ће се допринети остваривању циљева представљених у документу *Директива 20-20-20* на територији ЕУ. Директива обавезује земље чланице да појединачно дефинишу и квантификују циљеве о побољшању енергетске ефикасности зграда, да их изражавају у одговарајућим облицима (примарна, финална енергија) и остваре одређену количину уштеда у потрошњи енергије у предвиђеном временском периоду. *Директива* у Члану 4 наводи да „земље чланице треба да установе дугорочну стратегију за мобилисање инвестиција за унапређење националног грађевинског фонда, стамбених и комерцијалних зграда, како јавних тако и приватних” (ЕРСЕУ, 2012, р. 13). *Директива* додаје да будуће стратегије земаља чланица треба да обухватају приказ особина грађевинског фонда; исплативе приступе унапређењу зграде у зависности од типа и климатске зоне; политике и мере које ће подстицати обимнија унапређења зграда; смернице које ће помоћи одлучивање појединаца, грађевинске индустрије и финансијских институција током инвестиција, приказе очекиваних уштеда у потрошњи енергије и шире добити. Када је у питању унапређење енергетских својстава зграда, наведено је да јавни сектор треба да постави пример и сваке године унапреди 3% грејане и/или расхлађиване површине зграда у власништву централне власти чије су корисне површине веће од 500 m², односно, ова граница се од јула 2015. спустила на 250 m².

Ревидирано издање *Директиве 2010/31/EУ* (ЕРСЕУ, 2010), познатије као *EPBD Recast*, овог тренутка представља главни легислативни инструмент који уређује коришћење енергије у сектору зградарства на територији ЕУ. У односу на

претходно наведене поставке *Директиве* из 2002. године⁴, нова *Директива* уводи знатно строжије мере и захтеве везане за методологију мерења енергетских својстава зграда, постављање минималних захтева енергетских својстава зграда за нове и постојеће зграде, енергетске сертификате, њихово издавање и излагање, као и контроле техничких система зграде. Посебно се истиче да *Директива* наводи дефиницију зграда близу нулте енергије NZEB и налаже земљама чланицама обавезу за развијање националних планова за повећање њиховог броја, утврђивање политика и предузимање мера ради подршке унапређивању постојећих зграда. У Члану 9 *ревидиране EPBD Директиве* је наведено да земље чланице треба да „развију политике и примене мере као што је постављање циљева да би се стимулисала трансформација зграда које се унапређују у зграде близу нулте потрошње енергије (...). Национални планови треба да обухвате, између осталог, следеће елементе:

- детаљну примену дефиниције зграде близу нулте потрошње енергије у пракси земље чланице, одражавајући њене националне, регионалне и локалне услове и укључујући нумерички индикатор за примарну енергију изражен у kWh/m² на годишњем нивоу (...),
- непосредне циљеве за унапређење енергетских својстава нових зграда до 2015 (...),
- информације о политикама и финансијским или другим мерама у контексту параграфа 1 и 2 за промоцију зграда близу нулте потрошње енергије, укључујући детаље о енергији добијеној из обновљивих извора за нове зграде и постојеће зграде које су подлегле обимнијем унапређењу” (EPCEU, 2010, p. 21).

⁴ *EPBD директива 2002/91/EC* (EPCEU, 2002) је усвојена у децембру 2002. године за територију земаља чланица ЕУ. *Директива* се усредсређује на унапређивање енергетских својстава зграда и обухвата чланове који се односе на: утврђивање оквира за методологију мерења енергетских својстава зграда; постављање минималних захтева за енергетска својства нових и постојећих зграда за које се планира унапређење ових својстава; утврђивање система енергетске сертификације и пратећих смерница за нове и постојеће зграде; увођење редовне контроле котлова и система за климатизацију (EPCEU, 2002). Појединачне земље чланице ЕУ су биле у обавези да предузму неопходне мере ради доношења закона, прописа и административних одређби неопходних за придржавање *Директиве* до 2006. године.

Обимнија унапређења су дефинисана Чланом 2 као „унапређења зграде где:

- укупна цена унапређења које се односи на омотач зграде или техничке системе зграде је већа од 25% вредности зграде, не обухватајући вредност земљишта на којем се налази зграда; или,
- више од 25% површине омотача зграде подлеже унапређењу” (EPCEU, 2010, p. 18)

Земље чланице ЕУ при обимнијим унапређењима зграде бирају примену прве или друге наведене могућности.

Прегледом структуре *ревидиране EPBD Директиве* се потврђује значај повећања енергетске ефикасности грађевинског фонда у ЕУ. Међутим, прегледом се такође утврђује да поједине поставке које се директно односе на унапређење већ постојећих грађевина нису обухваћене *Директивом*, као што су циљеви за уштеде у потрошњи енергије који би се испунили искључиво унапређењем постојећег грађевинског фонда; или NZEB дефиниција за постојеће објекте који тек треба да прођу кроз поступке унапређења енергетских својстава. Изостанком захтева за развијање јасне дефиниције у појединачним националним плановима земаља чланица, повећава се ризик да се неће испунити циљеви уштеда у потрошњи енергије и емисији гасова који изазивају ефекат стаклене баште за 2020. и 2050. годину. Ненаведене поставке се у публикацијама важних институција, као што је *Европски савет за енергетски ефикасну економију*, називају недостацима *ревидиране EPBD Директиве* (European Council for an Energy Efficient Economy [ECEEE], 2010). По ставу *Савета*, недостаци узрокују одлагање неопходног улагања у различите аспекте везане за концепт унапређења постојећег грађевинског фонда, као што је улагање у стварање мреже експерата из различитих научних области укључених у отварање путева ка енергетској ефикасности, обуке неопходног кадра за унапређење постојећег грађевинског фонда, развој нових технологија и индустријских постројења, и развијање финансијских механизма и унапређење доступности фондова који би дали подршку поступцима унапређења (ECEEE, 2010).

Земље чланице ЕУ су у обавези да развију националне планове који, између осталог, садрже дефиниције, временске одреднице циљева и предложене мере за подршку NZEB зградама до јануара 2016. године. Почевши од краја децембра 2012. године, земље чланице су сваке три године дужне да редовно обавештавају Европску комисију о свом напретку. Извештај Европске комисије *Напредак земаља чланица ка зградама близу нулте енергије* (енг. Progress by Member States towards Nearly Zero-Energy Buildings), закључује да земље чланице⁵ нису постигле очекивани напредак у припремама ка остварењу плана за NZEB до 2020. године. Земље показују потешкоће у поступку успостављања јасне NZEB дефиниције унутар оквира *ревидиране EPBD Директиве*. Другим речима, грађевински сектор се суочава са несигурностима око регулационих и политичких оквира за NZEB зграде (ЕС, 2013).

Директива 2006/32/ЕС о енергетској ефикасности крајњих корисника и енергетским сервисима (EPCEU, 2006) обухвата, између осталог, постављање циљева о уштедама у потрошњи енергије као и обавезе државних власти везане за подршку мерама унапређења енергетске ефикасности и енергетских сервиса. Анекс 3 *Директиве* обухвата примере мера унапређења стамбеног и терцијарног сектора који служе као смернице за унапређење: грејања и хлађења, изолације и вентилације, припреме СТВ, осветљења, кувања и расхлађивања, остале опреме и електричних уређаја, домаће производње енергије из ОИ где се количина „купљене“ енергије смањује (EPCEU, 2006, р. 77).

Директива 2009/125/ЕС (EPCEU, 2009) уређује смањење енергетске потрошње електричних уређаја и апарата за домаћинство са аспекта потрошње енергије током различитих фаза животног циклуса производа и са аспекта означавања енергетског разреда. Да би се избегао ефекат уштеде енергије током фазе коришћења уређаја на рачун повећања количине материјала и енергије потребне за процес производње уређаја, утврђени су захтеви везани за побољшање нивоа енергетске ефикасности током фазе дизајна уређаја.

⁵ Свега осам земаља чланица је предало националне планове за NZEB, и то Белгија, Данска, Кипар, Финска, Литванија, Холандија, Шведска и Велика Британија. Од краја новембра 2012, шест земаља је предало планове који нису обухваћени анализом. Наведене земље обухватају Бугарску, Немачку, Француску, Мађарску, Ирску и Словачку (ЕС, 2013).

Постављањем обавезе за означавање енергетског разреда, побољшава се свест корисника о потребној енергији за употребу уређаја. Енергетски разред уређаја је уређен сетом прописа за групе електронских уређаја⁶ и могу бити означени од *D* до *A* и *A*⁺, *A*⁺⁺ и *A*⁺⁺⁺.

Пропис о декларацијама о својствима грађевинских производа (енг. Regulation laying down harmonised conditions for the marketing of construction products) 305/2011/EU (ЕРСЕУ, 2011) и *Измене Прописа 574/2014/EU* (ЕС, 2014) хармонизују правила за навођење перформанси грађевинских производа у земљама чланицама ЕУ. Хармонизовани европски стандарди обезбеђују техничку основу за процену перформанси грађевинских производа које се сумирају у декларацијама. Резултат стандарда је постизање чврсте техничке основе за заједничке методе одговарајућих тестирања перформанси грађевинских производа и њихово сумирање у документу, односно, јединственој шеми за декларисање перформанса производа наведеној у *Пропису No 574/2014*. Уколико грађевински производ није у потпуности покривен хармонизованим европским стандардима, издаје се *европски документ процене* који садржи општи опис, листу важних карактеристика, методе и критеријуме процене перформанса грађевинског производа у односу на важне карактеристике и принципе контроле производње у фабрици (ЕС, 2015).

2.3. Зграде високих перформанси

Концепти зграда високих перформанси су описани у постојећој литератури са широким опсегом термина и дефиниција. Ернхорн [Erhorn] и Ернхорн-Клутиг [Erhorn-Kluttig] (2011) су изнели закључке истраживања о зградама високих перформанси у земљама чланицама ЕУ, које су биле у употреби пре објављивања *ревидиране ЕРВД Директиве* и дефиниције зграде близу нулте енергије.

⁶ *Директива 2009/125/ЕС* је установила оквир за постављање захтева за еко-дизајн појединих уређаја који троше електричну енергију. Приложени прописи за уређаје за вентилацију су *Commission Regulation (EU) No 1253/2014 of 7 July 2014*; прописи за уређаје за кување *Commission Regulation (EU) No 66/2014 of 14 January 2014*; уређаје за грејање и загревање воде *Commission Regulation (EU) No 813/2013 of 2 August 2013*; усисиваче *Commission Regulation (EU) No 666/2013 of 8 July 2013*, итд.

Истраживачи су закључили да се у 14 земаља ЕУ употребљава 23 различита термина: нискоенергетска кућа, еко-зграда, кућа за уштеду енергије, кућа ултра ниске енергије, тролитарска кућа, пасивна кућа, кућа нулте енергије за грејање, кућа нулте енергије, кућа плус-енергије, кућа нулте емисије, кућа нултог угљеника, кућа без емисије, кућа без угљеника, енергетски самодовољна кућа / енергетски аутономна кућа, кућа троструке нуле, BREEAM зграда, зелена зграда, код за одрживе куће CSH, биоклиматска кућа, лидер А, кућа веома ниске енергије, клима: активна кућа, TBQ⁷ (Erhorn, Erhorn-Kluttig, 2011). Наведене зграде високих перформанси истраживачи диференцирају на три групе:

- зграде са ниском потрошњом енергије,
- зграде са ниским емисијама угљен-диоксида и
- зграде са одрживим или зеленим аспектима.

Прва група зграда, зграде ниске потрошње енергије, односи се на термине: нискоенергетска кућа, кућа за уштеду енергије, кућа ултра ниске енергије, тролитарска кућа, кућа нулте енергије за грејање, кућа нулте енергије, кућа плус-енергије, кућа веома ниске енергије, енергетски самодовољна кућа, енергетски аутономна кућа.

⁷ Нискоенергетска кућа (енг. low energy house), еко-зграда (енг. eco-building), енергетски штедљива кућа (енг. energy saving house), кућа ултра ниске потрошње енергије (енг. ultra low energy house), тролитарска кућа (енг. 3-litre-house), пасивна кућа (енг. passive house), кућа нулте енергије за грејање (енг. zero-heating energy house), кућа нулте енергије (енг. zero-energy house), кућа плус-енергије (енг. plus-energy house), кућа нулте-емисије (енг. zero-emission house), кућа нултог угљеника (енг. zero-carbon house), кућа без емисије (енг. emission-free house), кућа без угљеника (енг. carbon-free house), енергетски самодовољна кућа / енергетски аутономна кућа (енг. energy self-sufficient house / energy autarkic house), кућа троструке нуле (енг. triple zero house), BREEAM зграда (енг. BREEAM building), зелена зграда (енг. green building), CSH, код за одрживе куће (енг. code for sustainable homes - CSH), биоклиматска кућа (енг. bioclimatic house), лидер А (енг. lider A), кућа веома ниске енергије (енг. very low energy house), клима: активна кућа (енг. climate: active house), TBQ енгл. TBQ, total quality planning and rating) (Erhorn, Erhorn-Kluttig, 2011).

2.3.1. Зграде ниске потрошње енергије

Недостатак јединствене дефиниције зграде ниске потрошње енергије и одговарајуће методологије њеног мерења, честа су тема дискусија научних кругова (Sartori, Napolitano, Voss, 2012; Erhorn, Erhorn-Kluttig, 2011; Marszal et al., 2011). Ови истраживачи истичу потребе за хармонизацијом концепата и стандардизацијом њихових назива и дефиниција. Један термин зграде ниске потрошње енергије може да се односи на две различите дефиниције зграде примењене у две државе. Методологије мерења енергетске потрошње често немају једнаке оквире мерења, односно, не обухватају једнаке видове потрошње енергије: грејање, хлађење, вентилација, припрема санитарне топле воде, осветљење и употреба електричних уређаја.

Заједничка карактеристика наведених зграда је усредсређивање методологија за прорачун потрошње енергије на категорију оперативне енергије. Међутим, последњих неколико година се спроводе истраживања о концепту зграде ниске потрошње енергије чији оквир мерења обухвата енергетску потрошњу током целог животног циклуса зграде. Зграду нулте енергије животног циклуса LC-ZEB (енг. life cycle-zero energy building) прати предложена методологија за прорачун уграђене и оперативне енергије и одговарајући систем рангирања за зграде које испуњавају услове дефинисане наведеним концептом (Hernandez, Kenny, 2011, 2010).

Енергија потрошена током целог животног циклуса куће није обухваћена регулативом о енергетској ефикасности у зградарству. Присутне су критике научних кругова за усредсређеност *ревидиране EPBD Директиве* само на категорију оперативне енергије. Истраживачи предлажу стандардизацију мерења и укључивање уграђене енергије у облику нумеричког индикатора у националну регулативу земаља чланица ЕУ, чиме би се употпунио сложен приступ *Директиве* проблематици енергетских својстава зграда (Zöld, Szalay, 2007).

Наредни параграфи дају преглед дефиниција зграда ниске потрошње енергије које се сматрају релевантним за проблематику докторске дисертације:

- нискоенергетска зграда,
- пасивна кућа,
- зграда близу нулте енергије,
- зграда нулте енергије и нето-нулте енергије,
- зграда плус-енергије или енергетски позитивна зграда и
- зграда нулте енергије животног циклуса ⁸.

Нискоенергетска зграда

Нискоенергетска зграда још увек нема јединствену дефиницију утврђену у међународним научним круговима. Термин нискоенергетска се сматра општим појмом који говори да су енергетска својства разматране зграде боља у односу на енергетска својства конвенционалне зграде изграђене према националним прописима о енергетској ефикасности зграда за утврђене државе, односно подручја. Наведена дефиниција нискоенергетске зграде се ипак сматра дескриптивном и неформалном.

Појединачне дефиниције нискоенергетских зграда су у складу са политикама земаља из којих потичу, националним грађевинским прописима и локалним грађевинским праксама. Нпр. конкурсације за пореске олакшице у Немачкој захтева да потрошњу енергије у нискоенергетским зградама карактерише одређени редуковани фактор, у поређењу са зградама изграђеним према националним прописима о енергетским својствима зграда (Erhorn, Erhorn-Kluttig, 2011). Под претпоставком да формирање дефиниције нискоенергетске зграде у различитим земљама ЕУ треба да обухвати наведени редуковани фактор, Ерхорн и Ерхирн-Клутиг наводе да редуковани фактор не би био јединствен за нискоенергетске зграде изграђене у свим државама ЕУ, због разноврсности климатских услова, националне легислативе о енергетским својствима зграда, примењиваним активним и пасивним технологијама и др. (2011).

⁸ Нискоенергетска зграда (енг. *low energy building*), пасивна кућа (енг. *passive house*, нем. *Passivhaus*), зграда близу нулте енергије (енг. *nearly zero energy building*), зграда нулте енергије (енг. *zero energy building*) и нето-нулте енергије (енг. *net-zero energy building*), зграда плус-енергије (енг. *plus-energy building*) или енергетски позитивна зграда (енг. *energy positive building*) и зграде нулте енергије животног циклуса (енг. *life cycle zero-energy building*).

Пасивна кућа

Пасивна кућа је зграда сертифицивана од стране Института пасивна кућа на основу испуњености услова о високом нивоу енергетске ефикасности, одвојено утврђених за нове и постојеће зграде. „Зграде сертифициване као пасивне куће су веома добро изоловане и заптивене зграде чија је годишња потрошња енергије за грејање толико ниска да се конвенционални систем грејања може изоставити. Мала количина неопходне топлоте се може допремити у појединачне просторије грејањем ваздуха доведеног вентилационим системом" (Feist et al., 2013, p. 16).

Стицање сертификата новоизграђених зграда се постиже уградњом одговарајућих компоненти пасивне куће и испуњавањем услова који обухватају максималне дозвољене вредности (Feist et al., 2013a):

- потребне енергије за грејање $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$,
- потребне енергије за хлађење $\leq 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) + 0,3 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{a} \cdot \text{K}) \cdot \text{DDH}$,
- примарне енергије $\leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ и
- броја измена ваздуха инфилтрацијом $\leq 0,6 \text{ h}^{-1}$ при разлици притисака од 50 Pa.

Сертификат пасивне куће *EnerPHit* се додељује након поступка унапређења енергетских својстава постојећих зграда у централноевропској умереној клими. Услови за сертификацију постојећих кућа обухватају максималне дозвољене вредности (PI, 2013):

- потребне енергије за грејање од $25 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ или испуњавање захтева о карактеристикама појединачних компоненти пасивних кућа (поједини услови за компоненте пасивних кућа наведени у прилогу Б, табели 33),
- укупне примарне енергије која се рачуна према једначини

$$Q_p \leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) + (Q_H - 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})) \cdot 1,2 \quad (2.1.)$$

где су Q_R максимална дозвољена примарна енергија и Q_N потребна енергија за грејање зграде и

- броја измена ваздуха инфилтрацијом $\leq 1,0 \text{ h}^{-1}$ (циљана вредност $\leq 0,6 \text{ h}^{-1}$) при разлици притисака од 50 Pa.

Верификација критеријума је обавезна применом компјутерског програма *Пакет за планирање пасивне куће RHPР*.

Зграда близу нулте енергије

Зграда близу нулте енергије NZEB је дефинисана у Члану 2 *ревидиране EPBD Директиве* као „зграда која има веома висока енергетска својства (...). Приближно нулта или веома ниска количина потребне енергије требало би да се у веома значајној мери покрива енергијом из обновљивих извора, укључујући енергију из обновљивих извора која се производи на локацији или у близини⁹” (EPCEU, 2010). Дефиниција треба да се прилагоди националним, регионалним или локалним условима сваке појединачне земље чланице ЕУ¹⁰ и треба да обухвата бројчани индикатор годишње примарне енергије по јединици површине [kWh/(m²·a)]. Пошто су NZEB кључни елемент за унапређивање енергетске ефикасности грађевинског фонда, дефинисање основних принципа NZEB и примена у пракси су одговорност земаља чланица ЕУ.

Према Европском институту перформанси зграда ВРПЕ три основна принципа NZEB зграда су максимална дозвољена вредност потребне енергије током коришћења зграде, минимално дозвољени удео енергије добијене из ОИ и максималне дозвољене граничне вредности примарне енергије и емисија CO₂

⁹ Дефиниција зграде близу нулте енергије гласи (енг.) „nearly zero-energy building means a building that has a very high energy performance (...). The nearly zero or very low amount of energy required should be covered to a very significant extent by energy from renewable sources, including energy from renewable sources produced on-site or nearby” (EPCEU, 2010, p. 18)

¹⁰ Као што је речено у одељку 2.1.2, *Извештај Европске комисије* из јуна 2013. године говори о напретку у имплементацији NZEB концепта у државама чланицама ЕУ (ЕС, 2013). Само 5 од 9 поднетих извештаја о националним плановима за NZEB дефиницију, садрже бројчани циљ о енергетским својствима зграда и удео енергије из ОИ. *Извештај* закључује да у земљама чланицама није постигнут довољан напредак у припремама ка NZEB до 2020. године. Грађевински сектор се суочава са несигурностима о регулаторном и политичком оквиру за NZEB, услед недостатка детаљних, практичних и јасних дефиниција у оквиру *ревидиране EPBD Директиве* (ЕС, 2013).

током коришћења зграде. Уколико је вредност енергије произведене из ОИ већа од енергетских потреба зграде, јасна правила на националном нивоу утврђују начин прорачуна и враћања енергије у градску енергетску мрежу (Atanasiu et al., 2011).

Подаци о NZEB дефиницијама у појединачним чланицама ЕУ су сумиране у табели 1 (Kurnitski, Buso, Corgnati, Derjanecz, Litiu, 2014). Подаци се односе на енергетска својства зграде и на удео енергије добијене из ОИ.

Табела 1. Преглед NZEB дефиниција стамбених зграда у ЕУ

Зона	Земља	Дефиниција NZEB						Извори			
		Енергетска својства - ЕС						ОИЕ	Национална легислатива која даје NZEB дефиницију	Извори	
		ЕС	Мерна јединица	ОИЕ у прорачуну ЕС	Физичка величина	Обухваћен вид потрошње енергије	Тип стамбене зграде			Енергетска својства	ОИЕ
Зона 1-2	Кипар	180	kWh/(m ² ·a)	Не	Примарна енергија	Грејање, хлађење, СТВ, осветљење		25%	<i>NZEB Action Plan</i>	(ЕС,2013а)	(ЕС,2013а)
Зона 3	Словачка	32	kWh/(m ² ·a)	Није наведено	Примарна енергија	Грејање, СТВ	Стамбена зграда	50%	-	(ЕС,2013б)	(ЕС,2013б)
		54	kWh/(m ² ·a)	Није наведено	Примарна енергија		Породична кућа	50%	-	(ЕС,2013б)	(ЕС,2013б)
Зона 4	Белгија, Брисел	45	kWh/(m ² ·a)	Да	Примарна енергија	Грејање, СТВ, уређаји	Индивидуални стан (енг. individual dwelling)	-	<i>Brussel Air, Climate and Energy Code</i>	(ЕС,2013а)	-
	Белгија, Валонија	60	kWh/(m ² ·a)	Није наведено	Примарна енергија	Грејање, СТВ, уређаји		50%	<i>Regional Policy Statement</i>	(ЕС,2013)	(ЕС,2013а)
	Белгија, Фландрија	30	kWh/(m ² ·a)	Да	Примарна енергија	Грејање, хлађење, вентилација, СТВ, помоћни системи		>10 kWh/(m ² ·a)	<i>Energy Decree</i>	(ЕС,2013а)	(ЕС,2013а)
	Француска	50	kWh/(m ² ·a)	Не	Примарна енергија	Грејање, хлађење, вентилација, СТВ, осветљење, пом.сист.		-	<i>RT 2012</i>	(ЕС,2013а)	
	Ирска	45	kWh/(m ² ·a)	Није наведено	Оптерећење енергијом	Грејање, вентилација, СТВ, осветљење		-	<i>Building Regulation Part L amendment</i>	(ЕС,2013а)	
	Холандија	0	-	Да	Коефицијент ЕС	Грејање, хлађење, вентилација, СТВ, осветљење		Неквантификовани али неопходни	<i>EPG 2012</i>	(ЕС,2013а)	
Зона 5	Данска	20	kWh/(m ² ·a)	Да	Примарна енергија	Грејање, хлађење, вентилација, СТВ		51-56%	<i>BR10</i>	(ЕС,2013а)	(ЕС,2013)
	Естонија	50	kWh/(m ² ·a)	Да	Примарна енергија	Грејање, хлађење, вентилација, СТВ, осветљење, КГХ, пом. системи, уређаји	Слободностојеће куће	-	<i>VV No 68:2012</i>	(REHVA, 2013)	-
		100	kWh/(m ² ·a)	Да	Примарна енергија		Стамбене зграде	-		(REHVA, 2013)	-
	Летонија	95	kWh/(m ² ·a)	Није наведено	Примарна енергија	Грејање, хлађење, вентилација, СТВ, осветљење		-	<i>Cabinet Regulation N° 383 from 2013</i>	(ЕС,2013б)	-
	Литванија	< 0,25	-	Није наведено	Индикатор ЕС	Грејање		50%	<i>Building Technical Regulation STR 2.01.09:2012</i>	(ЕС,2013а)	(ЕС,2013б)

Извор: Kurnitski et al., 2014

Табеларни преглед NZEB дефиниција стамбених зграда показује да постоје значајне варијације у максималним дозвољеним вредностима примарне енергије, у распону од 20 до 180 kWh/(m²·a). Разлике у граничним вредностима се уочавају и код држава које припадају сличним климатским условима, односно, истим климатским зонама, наведеним од стране Екофиса [Ecofys] (парафразирано у Kurnitski et al., 2014). Србија припада трећој климатској зони која од наведених држава обухвата само Словачку. Разлике у дозвољеним вредностима примарне енергије се образлажу чињеницом да NZEB дефиниције различитих земаља не обухватају све облике енергетске потрошње. Табела 1 показује да наведене NZEB дефиниције у државама чланицама ЕУ, осим у Литванији, у дозвољену вредност примарне енергије за стамбене зграде, између осталог, укључују енергију за грејање и припрему санитарне топле воде, а више од половине наведених држава у ову вредност укључује енергију за хлађење и вентилацију.

Граничне вредности енергетских својстава су утврђене за одређене типове стамбених зграда у Словачкој, Белгији (Брисел) и Естонији. Максимална дозвољена вредност примарне енергије за породичне куће у Словачкој износи 54 kWh/(m²·a), за индивидуалну стамбену зграду у Бриселу износи 45 kWh/(m²·a), а за слободностојећу кућу у Естонији 50 kWh/(m²·a). Међутим, вредности нису упоредиве јер обухватају енергетску потрошњу за различите намене у згради и не изјашњавају се на исти начин о укључивању у биланс енергију из ОИ. Формирање доследних и упоредивих вредности енергетских својстава и енергије из ОИ за дефинисање NZEB зграде захтева додатне смернице упућене земаљама чланицама ЕУ (Kurnitski et al., 2014).

Зграде нулте и нето-нулте енергије

Зграда нулте енергије и зграда нето-нулте енергије немају јединствену међународно утврђену дефиницију¹¹ али се примарно односе на употребу

¹¹ Једна од дефиниција зграде нето-нулте енергије наводи да су „зграде нето нулте енергије оне зграде које су неутралне током године, што значи да испоручују онолико енергије дистрибутивним мрежама колико енергије црпе са њих. Гледано са овог аспекта, зградама нису потребна фосилна горива за грејање, хлађење, осветљење или другу употребу енергије, иако понекад употребљавају енергију са мреже” (Laustsen, 2008, p. 71).

оперативне енергије током фазе коришћења зграде, изражене на годишњем нивоу. Термин нето-нулта означава зграде које користе електродистрибутивну мрежу за преношење електричне енергије до и од зграде (као и друге дистрибутивне мреже за преношење енергије), избегавајући батерије и друге системе складиштења енергије. Другим речима, зграде нето-нулте енергије у једном временском периоду произведу бар онолико енергије колико им је потребно за употребу током целе године. Према томе, концепт зграде нето-нулте енергије се чешће примењује у односу на аутономне зграде нулте енергије, које се углавном граде на местима са специфичним условима локације или са циљем едукације или истраживања. Зграде нето-нулте енергије имају већу флексибилност приликом употребе електричних уређаја у кући која се постиже повезивањем на дистрибутивну енергетску мрежу, у односу на аутономне куће које примењују системе складиштења електричне енергије. Вејл [Vale] и Вејл [Vale] су са практичним и филозофским приступом спровели упоредну анализу аутономне куће и куће повезане на енергетску дистрибутивну мрежу (2002), и закључили да „у Великој Британији, са густом насељеношћу и националном електродистрибутивном мрежом, нема смисла да се напусте ресурси уложени у изградњу мреже, и замене са новим ресурсима у облику батерија како би се постигла симболична самоодрживост” (цитирано у Marszal et al., 2011).

Енергетски позитивна зграда

Зграда плус-енергије, или енергетски позитивна зграда, такође нема јединствену међународно утврђену дефиницију али се уско повезује са концептима зграде нулте и нето-нулте енергије. Циљ зграде плус-енергије је постизање позитивног енергетског биланса на годишњем нивоу. Поред тога што производе веће количине енергије из ОИ, ове зграде вишак произведене енергије враћају у дистрибутивну мрежу. Концепт зграда плус-енергије се сматра изузетно амбициозним и захтева веома висока енергетска својства зграде и технологију високих капацитета, неопходних за производњу енергије из ОИ.

Зграда нулте енергије животног циклуса

Концепти зграда ниске потрошње енергије се односе само на вредности оперативне енергије зграде, нпр. концепт зграде нулте енергије подразумева да зграда производи исту количину енергије која је потребна за задовољавање свих видова потрошње током њене употребе. Међутим, уколико зграда производи ону количину енергије која је потребна да се надокнади сума уграђене и оперативне енергије до завршетка животног циклуса, она се назива зградом нулте енергије животног циклуса.

LC-ZEB зграда је дефинисана као зграда „чија је потрошња енергије животног циклуса на годишњем нивоу једнака нули” (Hernandez, Kenny, 2010, p. 817). Енергија животног циклуса (енг. life cycle energy - LCE), изражена на годишњем нивоу, подразумева суму уграђене и оперативне енергије изражене у јединицама примарне енергије по једној години животног циклуса зграде. Наведени концепт се тренутно сматра највишим степеном научне области. Постављање система који производе значајне количине енергије из ОИ, у поређењу са њиховом сопственом уграђеном енергијом, представљају сегмент оптималног решења ка остваривању LC-ZEB концепта. Са јединственим циљем достизања једног од концепата нискоенергетских зграда, неопходно је избећи предимензионисање компоненти зграде и система који производе енергију из ОИ. У супротном, према речима аутора, „укупна енергија животног циклуса изражена на годишњем нивоу можда не би била значајно смањена или би могла чак да се повећа” (Hernandez, Kenny, 2010, p. 819).

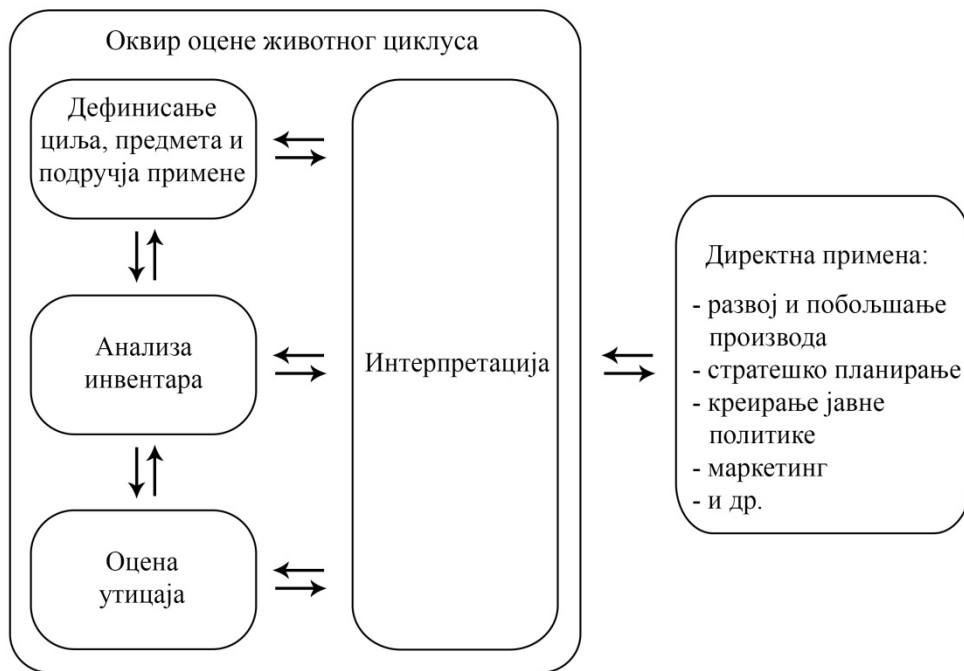
Зграда која производи више енергије него што јој је потребно за све видове потрошње током њеног коришћења, а вишак енергије складишти и враћа у енергетску дистрибутивну мрежу, назива се енергетски позитивна зграда. Из наведеног се закључује да LC-ZEB такође може да се сматра енергетски позитивном зградом, с обзиром да на годишњем нивоу производи веће количине енергије у односу на потребне.

3. ЕНЕРГИЈА ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА ЗГРАДА

3.1. Оцена животног циклуса

Оцена животног циклуса (енг. life cycle assessment или life cycle analysis - LCA) је методологија која се примењује у научним областима неколико сектора међу којима је и грађевинарство. LCA је методологија за процену производа или услуге од колевке до гроба, односно, од иницијалне екстракције и обраде сировог материјала, употребе, до његовог финалног одлагања или рециклаже (Ciambrone, 1997). Иако је у општем смислу добро дефинисана, примена LCA методологије у сектору грађевинске индустрије и даље трпи недостатак стандардизације (Blengini, Di Carlo, 2010).

Међународна организација за стандардизацију (енг. International Organization for Standardization - ISO) је током деведесетих година XX века усвојила стандард управљања животном средином. Серија стандарда ISO 14040 се усредсређује на утврђивање методологија за оцену животног циклуса. Серија дефинише LCA као технику за процену оних аспеката животне средине који се односе на производ или услугу, састављање инвентара улазних и излазних података, процене одговарајућих утицаја на животну средину, и интерпретацију резултата инвентара и утицаја у односу на циљ студије. LCA дефиниција је интерпретирана у четири корака примене приказана на дијаграму 3.



Дијаграм 3. Фазе оцене животног циклуса
Извор: ISO, 2006.

Циљ, предмет и подручје примене су први корак LCA методологије. Детерминишу се појединачни елементи студије као што су циљеви и обухват, границе система, критеријуми за утврђивање података инвентара, стратегија за сакупљање података и др.

Инвентар животног циклуса (енг. life cycle inventory - LCI) је методологија за процену потрошње ресурса, количине отпада и емисија који су проузроковани или се могу доделити животном циклусу производа (Rebitzer et al., 2004). Један производ се састоји из јединичних процеса од којих сваки подразумева једну или више активности, нпр. процес производње грађевинског материјала, његов транспорт, уградња и др. За сваки јединични процес се прикупљају подаци о природним ресурсима, емисијама, отпаду и другим разменама између дате активности и животне средине (Rebitzer et al., 2004). Сви јединични процеси су међусобно повезани, чинећи систем анализираниог производа. Примена LCI резултира систематизацијом података о протоку ресурса, емисијама и отпаду у облику инвентара улазних и излазних података. Улазни подаци обухватају природне ресурсе, неопходне за систем производа, а излазни подаци обухватају емисије и отпад које узрокује систем производа. Испитују се енергија, сировине,

емисије и загађивачи ваздуха, отпадне воде и чврсти отпад. Примена LCI методологије на предмет истраживања приказује породичну кућу као производ, животни циклус као систем, а његове фазе као јединичне процесе.

Оцена утицаја животног циклуса је трећи корак LCA методологије. Врши се класификација улазних и излазних података, након чега се природни ресурси, отпад и емисије додељују показатељима утицаја на животну средину. Показатељи обухватају индикаторе климатских промена, оштећења озонског омотача, трошења ресурса и др. Приписивањем протока ресурса, отпада и емисија наведеним индикаторима, добијају се резултати који се релативно једноставно интерпретирају. Удео протока ресурса, отпада и емисија у наведеним индикаторима се прорачунава применом фактора карактеризације који су од кључног значаја за добијање поузданих резултата.

Интерпретација резултата је закључак анализе која може да се одвија у било ком кораку LCA методологије. Компарација било која два потенцијална јединична процеса или производа се тумачи са аспекта појединих индикатора утицаја на животну средину. Често се за компарације укључују знања из природних наука, социологије, економије и др. (Rebitzer et al., 2004). Резултати анализе инвентара и LCA се користе за утврђивање доприноса за смањење оптерећења на животну средину проистеклих од производа или система. Примена овог корака на животни циклус постојећих породичних кућа анализираних у истраживању је у компарацији и тумачењу потенцијалних мера унапређења енергетских својстава кућа.

Студије које примењују LCA методологију на животни циклус зграда или једног њеног дела идентификују три основна метода (Dixit, Fernández-Solís, Lavy, Culp, 2010; Ding, 2004; Lenzen, Treloar, 2002; Fay, Treloar, Iyer-Raniga, 2000):

- анализу процеса,
- анализу улаза и излаза и
- хибридну анализу.

Анализа процеса је метод који дефинише научне поставке блиске принципима анализе инвентара животног циклуса. Примена LCI метода је временски захтевна, а представља само један корак LCA методологије. Поједностављење моделовања овог процеса се постиже применом методе анализа процеса (Rebitzer et al., 2004). Поређењем анализе инвентара и анализе процеса се уочава да се анализа инвентара усредсређује на детаљну анализу протока ресурса, отпада и емисија, док анализа процеса углавном бележи енергију и емисије гасова који доприносе ефекту стаклене баште. Анализа процеса разматра животно циклус зграде на начин да полази од ње као финалног производа, анализирајући га хронолошки уназад, до самог почетка циклуса. Након разлагања зграде на саставне елементе (грађевинске материјале, производе и системе), следи њихово приписивање одговарајућој енергетској потрошњи и емисијама гасова стаклене баште. Анализом се обухватају спроведени поступци од производње саставних елемената до завршетка финалног производа, односно, зграде. Међутим, поједностављивање LCI има своје предности и мане. Употребом просечних квантитативних вредности потрошње енергије за третирање појединачних материјала (као што су пластика, стакло, бетон и др.) се искључује чињеница да се за производњу једног грађевинског материјала примењују различити производни процеси и савлађују различите дистанце испоруке (Voorspools, Brouwers, D'haeseleer, 2000, парафразирано у Verbeeck, 2007).

Анализа улаза и излаза¹² разлаже крајњи производ на саставне елементе, које потом претвара у економске токове. Попут анализе процеса, овај приступ разматра зграду као крајњи производ који разлаже на грађевинске материјале, производе и системе. Потом се добијене компоненте зграде додељују одговарајућим секторима, као што су дрвна индустрија, металска и електро индустрија, индустрија хемије, гуме и неметала и др. За третман сваког просечног материјала додељеног одговарајућем сектору се спроводи прорачун на основу којег му се додељује количина енергије и емитованих гасова стаклене баште (Voorspools et al., 2000, парафразирано у Verbeeck, 2007). Дакле, животно циклус производа се сагледа и тумачи као низ економских токова који се трансформишу у токове енергије и емисије гасова. Недостаци анализе улаза и излаза су употреба

¹² Превод термина: срп. анализа улаза и излаза, инпут-аутпут анализа од енг. input-output analysis.

просечних података сектора и просечних енергетских тарифа из националних статистичких база података. Због непрецизних података о цени и енергетским тарифама, анализа се сматра као груб показатељ цене и утицаја појединих производа на животну средину.

Хибридна анализа се сматра сложеном методом јер комбиновано примењује предности анализе процеса и анализе улаза и излаза. Након разлагања финалног производа на саставне компоненте, односно, зграде на грађевинске материјале, производе и системе, следи примена анализе процеса за оне компоненте за које постоје поуздани подаци о количинама потрошене енергије и емисија гасова. Потом, из разлога отежаног добијања поузданих и доследних података, примењује се анализа улаза и излаза која на основу статистичких података из различитих сектора трансформише економске токове у токове енергије и емитованих гасова стаклене баште.

3.2. Анализа енергије животног циклуса

Анализа енергије животног циклуса (енг. life cycle energy analysis - LCEA) је методологија за процену енергије коју зграда потроши током свих фаза свог животног циклуса. LCEA методологија се ослања на принципе методологије за оцену животног циклуса зграде. Методологија има за циљ утврђивање вредности енергије животног циклуса зграде која представља суму уграђене и оперативне енергије потрошене током производње, коришћења и рушења зграде. Енергија животног циклуса (енг. life cycle energy - LCE) се изражава на годишњем нивоу у односу на (предвиђени) животно век зграде. Један од начина процене LCE је применом следеће једначине (Ramesh, Prakash, Shukla, 2010):

$$LCE = EE_i + EE_r + OE + DE \quad (3.1.)$$

где су: LCE енергија животног циклуса; EE_i иницијална уграђена енергија; EE_r накнадна уграђена енергија; OE оперативна енергија; DE енергија рушења зграде.

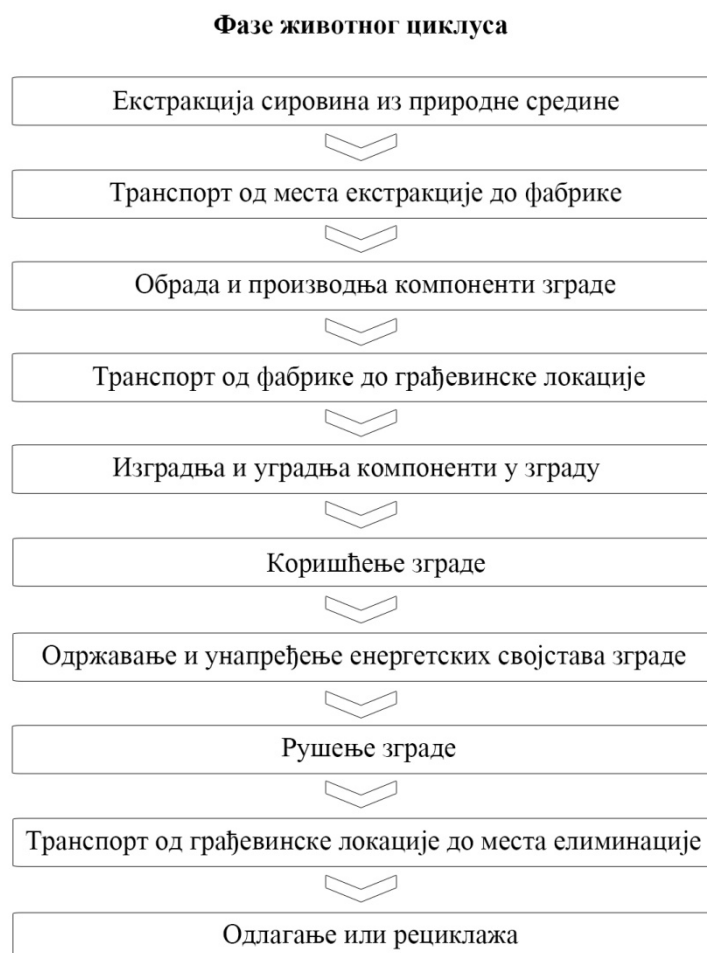
Резултати добијени применом LCEA методологије се у публикованим истраживањима изражавају у облику примарне или финалне енергије. Енергија животног циклуса се у овом истраживању изражава у јединицама примарне енергије. Напомиње се да сваки облик произведене енергије зависи од могућности искоришћења примарних извора односно домаћих енергетских ресурса као што су угаљ, нафта и гас. Нпр. у Србији је испорученој електричној енергији додељен фактор конверзије у примарну енергију 2.5 (МГСИ, 2011), што значи да је за производњу 1 kWh електричне енергије потребно два и по пута више примарне енергије.

3.3. Фазе животног циклуса зграде

Примена LCEA методологије на животно циклус породичне куће подразумева испитивање појединачних фаза животног циклуса куће и њених компоненти. Наглашава се да писани извори који изучавају енергију животног циклуса не наводе увек истоветну структуру система животног циклуса зграде¹³. Грађевинске индустрије у различитим земљама носе специфичности локалног процеса производње, дистрибуције, одлагања и поновне употребе грађевинских материјала, производа и система. Фазе циклуса су карактеристичне за сваку појединачну студију, а последично је присутно одступање у броју и називу фаза. Примери оваквих студија су (Slavković, Radivojević, 2015; Dixit et al., 2010; Ramesh et al., 2010; Citherlet, Defaux, 2007).

¹³У писаним изворима се ретко сусрећу фазе животног циклуса као што су транспорт грађевинских материјала, производа и система до складишних хала и постројења за префабрикацију, фазе складиштења, префабрикације, и др.

На основу искустава из грађевинске праксе у Србији и анализираних LCEA студија, за потребе научног истраживања се анализирају фазе животног циклуса зграде илустроване у дијаграму 4.



Дијаграм 4. Фазе у животном циклусу зграде

Методологија мерења потрошње енергије у већини фаза животног циклуса куће није стандардизована. Одступања су присутна при утврђивању дефиниција, граница обухвата и методологија мерења потрошње енергије, а резултати обухватају или изостављају потрошњу енергије током појединих поступака. Последице, компарација и употреба резултата о потрошњи енергије у оквиру појединачних фаза није прецизна, односно, поуздана је само уз комплетне и детаљне податке о елементима истраживања.

3.3.1. Екстракција сирових материјала из природне средине

Екстракција сирових материјала из природне средине је фаза животног циклуса специфична за сваку појединачну сировину неопходну за производњу компоненте зграде. Сировине из природног окружења се ваде различитим поступцима као што су минирање, копање, бушење, сечење и др, за које је доступан широк избор технологија. Константним унапређењем технологија се побољшавају енергетска својства машина за вађење сировина, што смањује потребну количину енергената за њихову употребу. Истовремено се усложњавају поступци производње компоненти зграде, а број технолошких процеса повећава, узрокујући пораст потрошње енергената.

Методолошки процес мерења енергије у фази екстракције сирових материјала из природне средине није стандардизован и последично обухват мерења, укључује или изоставља поједине енергетске утрошке. Мерење енергетске потрошње у овој фази животног циклуса се односи на производњу, изградњу, употребу и одржавање:

- машинерије, алата и возила,
- помоћних објеката за административне послове, организацију и надзор радова, обраду материјала, складиштење,
- остале инфраструктуре и супраструктуре и др.

Иностране базе података систематизују вредности о енергетској потрошњи током више фаза животног циклуса зграде (погледати одељке 3.5.1 и 4.1.1) и не обухватају појединачне податке за фазу животног циклуса екстракција сирових материјала из природне средине.

Европска комисија у документу *Пут ка ресурсно ефикасној Европи* (енг. *A Roadmap to a Resource Efficient Europe*) наводи да боља изградња и употреба зграда у земљама чланицама ЕУ може да смањи количину укупних извађених материјала из природне средине за више од 50% (ЕС, 2011а).

3.3.2. Транспорт сировина и компоненти зграде

Транспорт подразумева фазе животног циклуса у којима грађевински материјали, производи и системи, захтевају премештање са једне локације на другу. Испорука компоненти зграде се одвија више пута током животног циклуса зграде. Научно истраживање обухвата следеће фазе транспорта:

- транспорт сировина од места вађења из природне средине до постројења за обраду и производњу,
- транспорт компоненти зграде од фабричких складишта до грађевинске парцеле (фазе пре поступака изградње, одржавања и унапређења енергетских својстава зграде) и
- транспорт компоненти зграде од грађевинске парцеле до места одлагања или места рециклаже (фазе након поступака одржавања, унапређења енергетских својстава или рушења зграде).

Подаци о енергији за испоруку компоненти зграде су доступни у иностраним базама података и разликују се у зависности од обухвата и методологије мерења. Енергија се приписује производњи, употреби и одржавању возила, изградњи, употреби и одржавању инфраструктуре и супраструктуре, и др.

Вредност енергије за транспорт се у већини база података изражава у јединицама примарне енергије по тони испорученог материјала и километру пређеног пута [MJ/(t·km)]. Енергија за испоруку варира у зависности од превозног средства (лака комерцијална возила, камиони, зглобни камиони и возила железничког, воденог и ваздушног саобраћаја), нпр. допремање материјала железничким саобраћајем се сматра адекватнијим у односу на друмски саобраћај.

Дистанце пређеног пута током испоруке се утврђују употребом интернет страница које пружају мапе, ортофото снимке и тродимензионалне приказе терена (Google Maps, 2015; Mapquest, 2015; Yahoo Maps, 2015; PlanPlus, 2014). Новија публикована истраживања испитују могућности оптимизације рута испоруке и предлажу развој платформи за утврђивање могућих уштеда у потрошњи енергије и могућих смањења емисија штетних гасова током транспорта (Pearce, Johnson,

Grant, 2007). Потрошња енергије у фазама транспорта се повећава приликом неизбежног увоза компоненти зграде које нису доступне на домаћем тржишту. Локално произведене компоненте се са аспекта количине неопходне енергије сматрају адекватнијима у односу на компоненте које се допремају са удаљених локалитета.

LCEA студије често упрошћавају процене енергетске потрошње током фаза транспорта и изражавају вредности у облику процентуалног удела у енергетској потрошњи у току једне или више фаза животног циклуса зграде. Адалберт [Adalberth] тврди да потрошња енергије током фазе транспорта компоненти за изградњу породичне куће износи од 5 до 10% од укупне вредности енергетске потрошње потребне за њихову производњу (1997), и долази до закључка да енергетска потрошња за транспорт (заједно са енергетском потрошњом за изградњу и рушење зграде) износи око 1% од укупне енергије животног циклуса породичне куће (1997а). Одступања у процентуалним вредностима показују закључци да енергетска потрошња током транспорта компоненти за изградњу вишеспратне зграде износи 4% од укупне енергетске потрошње до почетка њеног коришћења (Chang, Ries, Lei, 2012).

Распон вредности енергетске потрошње у фази транспорта компоненти су резултат разлика у дефиницијама, методологијама и обухватима мерења. Нпр, одступања у границама обухвата мерења се примећују у LCA студијама које процењују потрошњу енергије до завршетка изградње зграде усредсређујући се само на фазе транспорта компоненти од фабрике до грађевинске локације, а често обухватајући и претходне процесе, као што су активности испоруке у фази производње ради обраде и третмана природних ресурса или компоненти зграде (Nässén, Holmberg, Wadeskog, Nyman, 2007). Публиковане студије које процењују енергетску потрошњу током дела или целог животног циклуса зграде често не објављују информације о врсти употребљених превозних средстава и пређеним дистанцама пута.

3.3.3. Обрада и производња компоненти зграде

Фаза животног циклуса обрада и производња компоненти зграде обухвата пречишћавање и обраду сировина, поступке производње, паковања, одлагања за испоруку и др. Вредности енергетске потрошње зависе од врсте завршног производа и примењених технологија и доступне су у базама података, у оквиру вредности које се приписују већем броју фаза животног циклуса компоненте.

Мерење енергетске потрошње током фазе обрада и производња компоненти зграде се односи на производњу, изградњу, употребу и одржавање:

- фабричких постројења и објеката у којима се спроводи процес производње,
- машинерије, алата и возила,
- помоћних објеката за административне послове, организацију и надзор радова, складиштење,
- остале инфраструктуре и супраструктуре,
- превоз радника и др.

3.3.4. Изградња и уградња компоненти у зграду

Фаза животног циклуса, изградња и уградња компоненти у зграду обухвата поступке на грађевинској парцели од припрема терена за изградњу до почетка употребе зграде. Мерење енергетске потрошње током ове фазе се односи на:

- погон и употребу грађевинских машина и алата,
- процесе на градилишту као што су осветљење, грејање, сушење и др,
- монтажу, употребу и одржавање контејнера за организацију и надзор градилишта у којем се енергија троши на грејање и хлађење простора, вештачко осветљење и употребу уређаја који користе енергију, и
- превоз радника од места становања, до, и са грађевинске локације и
- испорука алата и грађевинских машина.

Прецизно мерење енергетске потрошње је захтеван процес и специфичан за свако појединачно градилиште јер зависи од фактора као што су локација и топографија, спољашња клима, управљање градилиштем, дужина изградње (Ding, 2004). Процена потрошње енергије се у овој фази врши на више начина:

- спроводе се прецизна мерења директно на месту изградње зграде,
- преузимају се подаци о енергији потрошеној током појединачних поступака изградње из националних база и публикованих студија,
- спроводе се апроксимације о потрошњи енергије и изражавају се у процентуалном облику у односу на један сегмент или цео животни циклус зграде, и
- подаци се занемарују са напоменом да су вредности енергетске потрошње током ове фазе изузетно мали.

Мерење енергетске потрошње током процеса изградње породичне куће директно на грађевинској локацији резултује прецизним подацима о количини потрошене енергије. Свеобухватно праћење низа радова на градилишту је приступ који одговара анализи оних породичних кућа које су у процесу изградње у тренутку спровођења студије. Код постојећих породичних кућа које су предмет докторске дисертације, овај метод није примењив.

Учинак и норма машинског рада су полазни подаци за мерење потрошње енергије током процеса изградње постојеће породичне куће. Учинак грађевинске машине за одређени начин производње подразумева количину производње у јединици времена изражену у јединицама запремине, масе или по комаду, специфичну за дати начин производње машинским путем (Anagnosti et al., 1965). Разликују се две врсте учинка грађевинске машине:

- конструктивно-теоријски учинак и
- техничко-производни или практични учинак.

Теоријски учинак грађевинских машина се показује за краткотрајан период времена неометаног рада грађевинских машина, без икаквих ремећења или застоја и при савршеној организацији. Подаци за прорачун теоријског учинка

грађевинских машина су снага, капацитет и време употребе машине, количина третираног грађевинског материјала и др. Практични учинак грађевинске машине је учинак у најповољнијим условима употребе, при доброј организацији опслуживања и додирних процеса, и неизбежним техничким застојима (Anagnosti et al., 1965).

Практични учинак грађевинске машине је резултат смањивања теоријског учинка машине применом редукционих коефицијената. Коефицијенти се односе на факторе као што су радно време, пуњење, отпор и др, а утврђују се за појединачне грађевинске машине и спроведене поступке. Практични учинак грађевинске машине се рачуна према следећој једначини (Anagnosti et al., 1965):

$$U_p = U_t \cdot (K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 \cdot \dots \cdot K_n) \quad (3.2.)$$

где су U_p техничко-производни или практични учинак, U_t конструктивно-теоријски учинак, $K_1, K_2 \dots K_n$ редукциони коефицијенти. Нпр. K_v коефицијент коришћења радног времена, K_p коефицијент пуњења, K_o коефицијент отпора при резању земље, K_t коефицијент коришћења, K_h коефицијент висине откопа.

У иностранним публикованим студијама се такође наводе норме потрошње енергије за одређени машински рад и процесе током изградње зграде. Овакви подаци су одговарајући и погодни за преузимање уколико су услови у којима се гради анализирана зграда слични условима описаним у студији (локација, топографија, спољашња клима, управљање градилиштем, дужина изградње). У супротном, подаци се сматрају само добрим оријентиром о енергетској потрошњи у овој фази животног циклуса. На примеру изградње породичне куће у Данској, карактеристични подаци о потрошњи примарне енергије за ископ и уклањање земље износе 32 kWh/m², за сушење бетонског елемента 25 kWh/t, а за осветљење зграде 26 kWh/m² (Andersen, Dinesen, Hjort Knudsen, Willendrup, 1993, парафразирано у Adalberth, 1997). Разматрајући само један од фактора, спољашњу климу у Данској, закључујемо да су присутни енергетски поступци атипични за уобичајену грађевинску праксу у Србији, као нпр. поступци грејања и сушења зграде током процеса изградње.

Публиковане студије неретко формирају претпоставке о висини процентуалног удела енергетске потрошње током фазе изградње у укупној енергетској потрошњи до почетка употребе зграде. На основу анализе резултата бројних студија случаја стамбених зграда, Динг [Ding] (2004) закључује да распон износи од 5 до 11%. Ауторка истиче да је распон резултат студија које не наводе да ли су прорачуни изражени у вредностима примарне или финалне енергије, због чега се вредности користе само као груб показатељ и смерница за даља истраживања.

Насен и остали истраживачи су компаративном анализом утврдили варијације у резултатима LCEA студија, које за процену енергетске потрошње примењују анализу процеса и анализу улаза и излаза. Истраживачи закључују да удео енергетске потрошње у фази изградње и уградње компоненти у зграду у укупној вредности енергетске потрошње до почетка коришћења зграде испитаних студија које примењују метод анализе процеса износи 6%, док код студија које примењују метод анализе улаза и излаза износи 9% (Nässén et al., 2007).

Потрошња енергије током ове фазе се често не обухвата LCEA методологијама. Поједини аутори образлажу да је њен удео у енергији животног циклуса зграде занемарив (Thormark, 2002).

3.3.5. Коришћење зграде

Коришћење зграде је фаза којој се приписује највећи удео у енергији животног циклуса конвенционалних зграда. Видови потрошње енергије током ове фазе обухватају:

- грејање стамбеног простора,
- хлађење стамбеног простора,
- вентилацију стамбеног простора,
- припрему санитарне топле воде (СТВ),
- вештачко осветљење и
- употребу електричних уређаја за домаћинство.

Потрошња енергије током фазе коришћења зграде зависи од следећих фактора:

- геометријских карактеристика зграде: грејана површина, запремина грејаног дела зграде, степен разуђености омотача, односи пуних и транспарентних површина на омотачу и др,
- топлотних карактеристика омотача зграде: врста склопа, врста примењених материјала у топлотном омотачу, технике градње, и др,
- енергетских карактеристика система и уређаја који троше електричну енергију: системи за грејање, хлађење и вентилацију, појединачни уређаји за домаћинство, уређаји за осветљење,
- услова окружења: климатски услови, засенчење потекло од изграђене и природне средине,
- броја станара, њихових личних склоности и навика: времена и начина коришћења зграде, постизања одговарајућих услова комфора, учесталости и времена употребе система и уређаја који троше електричну енергију и др.

Фаза животног циклуса одржавање и унапређење зграде представља тачку у животном циклусу када се смањује енергетска потрошња у фази коришћења зграде. Поступци одржавања зграде се спроводе заменом компоненти након истека њиховог предвиђеног животног века. Поступци имају утицај мањег значаја на промене у потрошњи енергије током фазе коришћења зграде¹⁴. Насупрот томе, примарни циљ поступака унапређења енергетских својстава зграде је смањење енергије током фазе коришћења.

Резултати процене потрошње енергије у фази животног циклуса коришћења зграде пре и након поступака унапређења, зависе од временског одређења примене поступака унапређења енергетских својстава зграде. Научно истраживање се спроводи под претпоставком да се унапређење енергетских

¹⁴ Под претпоставком да су остали параметри везани за употребу куће током животног циклуса константни (број станара, навике и начин употребе простора, система и уређаја, климатски услови на годишњем нивоу и др.).

својстава постојеће породичне куће спроводи у *блиској* будућности. Прорачун потрошње енергије током фазе коришћења зграде пре унапређења енергетских својстава се врши за протекли временски период, за који су доступни тачни подаци о количини потрошене енергије. Прорачун потрошње енергије током фазе коришћења зграде након унапређења енергетских својстава се врши за будући временски период, за који се симулација потрошње енергије спроводи применом компјутерског програма.

Потрошња енергије у фази коришћења зграде пре унапређења њених енергетских својстава се прорачунава за карактеристичне календарске године. Поуздани извор података о потрошњи енергије су месечни рачуни за испоручену енергију, односно, електричну енергију и енергију за грејање (гас дистрибуиран гасоводном мрежом, топлота централним системом грејања и др.). У вишепородичним зградама, станари све чешће уграђују калориметре јер се плаћање за потрошену топлоту углавном врши паушално, по квадратном метру грејане површине стана. У породичним кућама, уколико станари поседују индивидуални систем за грејање чврстим горивима, неопходан је податак о количини потрошеног енергента, угља, ложног дрвета, пелета и др. Прорачун количине енергије која се добије њиховим сагоревањем се врши на основу података о калоријским вредностима јединичне мере енергената.

Потрошња енергије у фази коришћења зграде након унапређења њених енергетских својстава се утврђује применом компјутерских програма за симулацију потрошње енергије зграде. Компјутерски програми за спровођење ове врсте симулације захтевају унос три групе података:

- климатски услови средине,
- геометријске карактеристике зграде и њене околине и
- остала својства зграде¹⁵:
 - карактеристике конструкције топлотног омотача и примењених грађевинских материјала и производа,

¹⁵ У научном истраживању се својства зграде односе на све карактеристике које нису обухваћене геометријским особинама и климатским условима, а које се додељују згради у програму за симулацију потрошње енергије РНРР.

- карактеристике термотехничких система и система који трансформишу енергију из обновљивих извора у топлоту или електричну енергију и
- додатни подаци као што су број чланова домаћинства, унутрашње пројектне температуре, електрични уређаји за домаћинство, инфилтрација ваздуха и др.

3.3.6. Одржавање и унапређење енергетских својстава зграде

Фаза животног циклуса одржавање и унапређење енергетских својстава зграде разликује три типа мера:

- мере за одржавање зграде,
- мере за унапређење енергетских својстава зграде и
- непредвидиве мере.

Мере за одржавање зграде, као што су кречење, замене материјала за облагања, замена фасадне столарије и браварије и др, предвиђају се на основу животног века компоненти зграде и предвиђеног животног века зграде. Нпр. уколико је предвиђена дужина животног века термоизолационог материјала 30 година, а предвиђени преостали животни век зграде 60 година (у односу на тренутак када је уграђена термоизолација), то значи да постоји потреба за скидањем старог и постављањем новог слоја термоизолације једном, док зграда не пређе у фазу животног циклуса рушење. Подаци о животном веку компоненти зграде су наведени у оквиру појединих спецификација произвођача и у оквиру публикованих студија о очекиваном животном веку грађевинских материјала, производа и система. У развијеним државама, подаци о временском интервалу примене мера за одржавање зграде су доступни у појединим институцијама. Нпр, у Шведској ове податке држе компаније градских оштина које се баве стамбеним сектором (Swedish Municipal Housing Companies [SMHC], 1998 парафразирано у Thormark, 2002). Доступност података о животном веку компоненти зграде је ограничена на мали број података који се налазе у публикованим LCA и LCEA студијама.

Мере за унапређење енергетских својстава зграда у истраживању обухватају две групе мера:

- пасивне мере унапређења својстава топлотног омотача за оптимизацију топлотних губитака и добитака, и
- активне мере унапређења применом техничких система за смањење топлотних губитака и производњу енергије из обновљивих извора.

Прва група се односи на пасивне мере којима је циљ смањење коефицијената пролаза топлоте елемената топлотног омотача и промена односа транспарентних и нетранспарентних површина на јужно оријентисаној фасади, а друга група се односи на активне мере као што је постављање технологија које трансформишу сунчеву енергију у топлоту или у електричну енергију, и механичког система за вентилацију.

Непредвидиве мере узроковане субјективним жељама станара обухватају интервенције из естетских разлога и жеље за праћењем трендова. Непредвидиве мере узроковане неочекиваним утицајима из околине обухватају поправке механичких оштећења које су последица екстремних климатских услова или неочекиваних слегања терена. Истиче се да истраживање неће узимати у обзир енергетску потрошњу насталу оваквим интервенцијама.

Посматрано са аспекта вредности енергије животног циклуса, потрошња енергије у фази животног циклуса одржавање и унапређење зграде је занемарива. Публиковане LCEA студије које обухватају процене енергије током ове фазе, не излажу податке о детаљним мерењима непосредно на грађевинској локацији. Енергетска потрошња се углавном изражава процентуално у односу на енергетску потрошњу током дела или целокупног животног циклуса зграде. Процентуално изражавање се врши на исти начин као при проценама потрошње енергије у фази изградње и уградње компоненте у зграду (одељак 3.3.4).

Прецизне процене о енергији у овој фази захтевају директна мерења или претпоставке о временском трајању интервенције, просечном броју дана и електричној енергији која се потроши за коришћење грађевинских машина.

Обухват мерења се шири у зависности појединачних пројеката, нпр. уколико интервенције захтевају надзор и управљање градилиштем, врше се мерења или се формирају претпоставке за енергетску потрошњу контејнера за надзор и обављање дужности радника на градилишту, осветљење, грејање и др.

3.3.7. Рушење зграде

Фаза рушење зграде је веома ретко предмет истраживања публикованих студија (Blengini, Di Carlo, 2010; Sartori, Hestnes, 2007). Временски период конкретног процеса демонтаже зграде је кратак у поређењу са трајањем животног века зграде. Истраживачка заједница се није усредредила на утврђивање метода за квантификацију и могуће уштеде енергије током наведене фазе са оправданим разлогом. Анализа 73 студије случаја о потрошњи енергије зграда је показала да енергетска потрошња током фазе рушења зграде има незнатано или веома мало учешће у укупној вредности потрошене енергије током животног циклуса зграде (Ramesh et al., 2010). Процена енергетске потрошње, као и током претходне фазе, захтева директна мерења на терену или формирање претпоставки о примењеним грађевинским машинама, алатима и превозним средствима, количини и времену радова, укупном трајању процеса рушења зграде и др.

3.3.8. Одлагање или рециклажа компоненти зграде

Одлажу се грађевински материјали, производи и системи који не могу да се рециклирају и наставе свој животни циклус у оквиру животног циклуса другог производа. Поступак одлагања компоненти зграде на депоније захтева занемариве количине енергије и није обухваћен границама система животног циклуса зграда у публикованим истраживањима.

Рециклажа компоненте зграде се остварује на три начина: поновно коришћење, рециклажа материјала у отвореном или затвореном циклусу и сагоревање. Поновна употреба подразумева коришћење материјала са непромењеном, иницијалном, сврхом. Рециклажа у отвореном циклусу

подразумева обраду материјала и употребу са новом наменом, док рециклажа у затвореном циклусу подразумева обраду материјала са истом наменом као и пре рециклаже. Сагоревање се односи на коришћење материјала за добијање топлоте.

Значај рециклаже је у могућности да се при изградњи нове зграде уштеди она количина енергије која је потребна да се исти грађевински материјали произведу. Квантитативна вредност количине енергије уштеђене рециклажом се не одузима од целокупне вредности енергије животног циклуса зграде са које је компонента потекла. Сматра се да је рециклирани грађевински производ намењен за потребе изградње друге независне зграде.

Обезбеђивање потенцијалне рециклаже након рушења зграде се постиже применом материјала који могу да се рециклирају, избегавањем конструкција компликованих за демонтажу и конструкција код којих се материјали међусобно мешају и последично оштећују за рециклажу (Thormark, 2001). Тормарк објашњава, на примеру зграде у Шведској, да код нискоенергетских зграда поступак рециклаже резултује повратом од 37% до 42% од укупне вредности енергетске потрошње зграде осим енергије потрошене током њеног коришћења. Рециклажни потенцијал износи око 15% од укупне вредности потрошене енергије током предвиђеног животног циклуса зграде од 50 година (Thormark, 2002).

3.4. Границе система животног циклуса зграде

Груписање фаза животног циклуса у границе система и категорије енергије је основа методологије за испитивање односа уграђене и оперативне енергије. Познате су бројне студије које подржавају овај концепт (Slavković, Radivojević, 2015; Dixit et al., 2012; Ramesh et al., 2010; Ding, 2004). Границе система животног циклуса зграде су тачке где се сусрећу и повезују различити циклуси компоненти зграде, процеса и животне средине, а које су познате под терминима колевка,

капија, локација и гроб. Четири основна приступа разматрању животног циклуса настала груписањем фаза животног циклуса у границе система су¹⁶:

- од колевке до капије - приступ подразумева све фазе животног циклуса од екстракције сирових материјала из природне средине (колевка) до завршетка поступака производње када је компонента зграде спремна за испоруку (капија фабрике),
- од колевке до локације - приступ подразумева све фазе животног циклуса до испоруке компоненти зграде на парцелу (грађевинску локацију),
- од колевке до гроба - приступ подразумева све фазе животног циклуса до финалног одлагања компоненте зграде (завршетак животног циклуса компоненте) и
- од колевке до колевке - приступ подразумева све фазе животног циклуса укључујући фазу рециклаже, односно, поновну употребу компоненте која улази у животно циклус друге зграде или производа.

Груписање фаза животног циклуса у границе система је илустровано у дијаграму 5.

¹⁶За дисертацију су релевантне четири границе система животног циклуса зграде. Пошто се појединачне границе система у литератури на српском језику преводе са већим бројем термина, а национална регулатива не садржи ове термине, у дисертацији се усвајају следећи називи: срп. од колевке до капије, енг. cradle to gate; срп. од колевке до локације, енг. cradle to site; срп. од колевке до гроба, енг. cradle to grave и срп. од колевке до колевке, енг. cradle to cradle.



Дијаграм 5. Границе система животног циклуса зграде

Утврђене границе система животног циклуса зграде се примењују у методолошким процесима LCA и LCEA за праћење протока енергије, ресурса, емисија и отпада. Значај граница система животног циклуса за ово научно истраживање је у следећем:

- међународне базе података уграђене енергије током процеса израде компоненти зграде најчешће дефинишу обухват мерења енергетске потрошње једнак границама система од колевке до капије и од колевке до локације и
- истраживање дефинише обухват процене енергетске потрошње породичних кућа једнак граница система од колевке до гроба.

3.5. Категорије енергије животног циклуса зграде

Енергија коју зграда потроши током свог животног циклуса се диференцира на категорије уграђене и оперативне енергије (Karimpour, Belusko, Xing, Bruno, 2014; Cabeza, Rincón, Vilarinho, Pérez, Castell, 2014; Ramesh et al., 2010; Fay, et al., 2000). Категорија оперативне енергије подразумева енергетску потрошњу током фазе коришћења зграде. Категорија уграђене енергије подразумева енергетску потрошњу у фазама животног циклуса груписаним у три поткатегорије:

- иницијална уграђена енергија подразумева енергетску потрошњу од екстракције сировина из природне средине до завршетка изградње, односно, до почетка употребе зграде,
- накнадна уграђена енергија подразумева енергетску потрошњу која се приписује поступцима одржавања и унапређења зграде,
- енергија рушења подразумева енергетску потрошњу након завршетка употребе зграде, од демонтаже и других поступака рушења, преко испоруке компоненти на место одлагања или рециклаже, до поступка одлагања.

Груписање фаза животног циклуса у категорије и поткатегорије енергије илустровано је дијаграмом 6.



3.5.1. Уграђена енергија

Уграђена енергија подразумева енергетску потрошњу током свих фаза животног циклуса, од екстракције сирових материјала из природне средине до испоруке компоненти зграде на место одлагања или рециклаже, изузев енергетске потрошње током фазе коришћења зграде. Категорија уграђене енергије обухвата поткатегорије иницијалне уграђене енергије, накнадне уграђене енергије и енергију рушења зграде, шематски приказане у дијаграму 6.

Не постоји јединствена дефиниција нити метод за квантификацију уграђене енергије. Према речима Милера [Miller] (2001), термин уграђена енергија је предмет бројних интерпретација објављених од стране различитих аутора док су се одговарајућа мерења и прорачуни показали као нејасни. Позивајући се на неколико извора, Кабеза [Cabeza] и други аутори наводе да је уграђена енергија она која је „заробљена у грађевинским материјалима током

процеса производње, изградње на грађевинској локацији, и коначног рушења и одлагања” (Santero, Masanet, Horvath, 2011; Ozbay, Jawad, Parker, Hussain, 2004, парафразирано у Cabeza et al., 2014).

Недостатак поузданог обрасца, стандарда или протокола, односно, општеприхваћене методологије за тачан и доследан прорачун уграђене енергије, утиче на резултате публикованих студија широких квантитативних распона који често нису међусобно упоредиви. Истраживања објављена у научним чланцима из методологије, често изостављају количину уграђене енергије појединих фаза животног циклуса зграде, са образложењем мале заступљености уграђене енергије у укупној енергији животног циклуса. Неки чланци чак не објашњавају ни методолошки процес прорачуна уграђене енергије (Dixit et al., 2010)

Компарација резултата процене уграђене енергије различитих студија случаја је веома захтеван процес. Честе су варијације између резултата, а разлози недоследности су многобројни. Пре конкретног вршења прорачуна, анализирају се теоријске поставке и специфичности контекста у којем се зграда налази. На основу утврђених чињеница, опредељује се за улазне податке у прорачун који се примењују на студију случаја. Одабир улазних података дефинише обухват прорачуна, кораке, улазне бројчане вредности и последично конкретне резултате процене уграђене енергије у зграду. У улазне податке спадају:

- граница система животног циклуса зграде - дефинише обухват процене уграђене енергије, односно, утврђује који процеси, поступци и компоненте зграде су укључени, а који искључени из процеса процене,
- метод мерења уграђене енергије (анализа процеса, анализа улаза и излаза, хибридна анализа) - одређује специфичне предности и ограничења у поступцима њене примене,
- база података уграђене енергије у грађевинске производе - сваку појединачну базу карактерише локација мерења, доступност њених информација, степен детаљности, заснованост на ваљаним подацима, утемељеност на потврђеним методологијама, време

израде и др, што је чини прикладном или неодговарајућом за процену,

- обухват процене уграђене енергије - мање очигледна потрошња енергије, неопходна за подржавање примарних активности у животном циклусу зграде, могу бити укључени или изостављени из прорачуна. Нпр. енергија уграђена током производње и транспорта намештаја и електричних уређаја, енергија за транспорт радне снаге до грађевинске локације, енергија за производњу грађевинских машина и алата неопходних за грађевинске радове и др, и
- мерне јединице у којима се изражавају резултати - у зависности од земље у којој се спроводи истраживање, прецизније, утврђених фактора конверзије финалне у примарну енергију, утврђују се квантитативни резултати прорачуна.

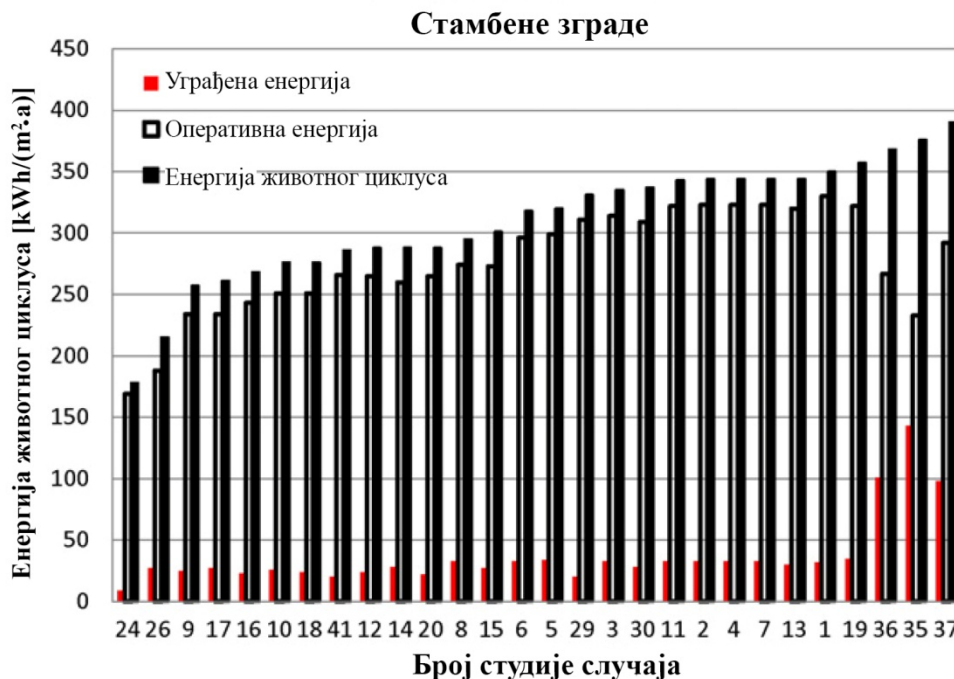
3.5.2. Оперативна енергија

Оперативна енергија је једнака потрошњи енергије током фазе животног циклуса коришћење зграде, чија је методологија мерења описана у одељку 3.3.5. Укупна вредност оперативне енергије једнака је збиру оперативне енергије пре и након поступка унапређења енергетских својстава зграде.

3.5.3. Однос уграђене и оперативне енергије

Однос уграђене и оперативне енергије у животном циклусу зграде је различит код конвенционалних зграда изграђених према националним прописима о енергетској ефикасности зграда у одређеној држави, конвенционалних зграда чија су енергетска својства унапређена са циљем испуњавања карактеристика зграда ниске потрошње енергије, и код зграда ниске потрошње енергије.

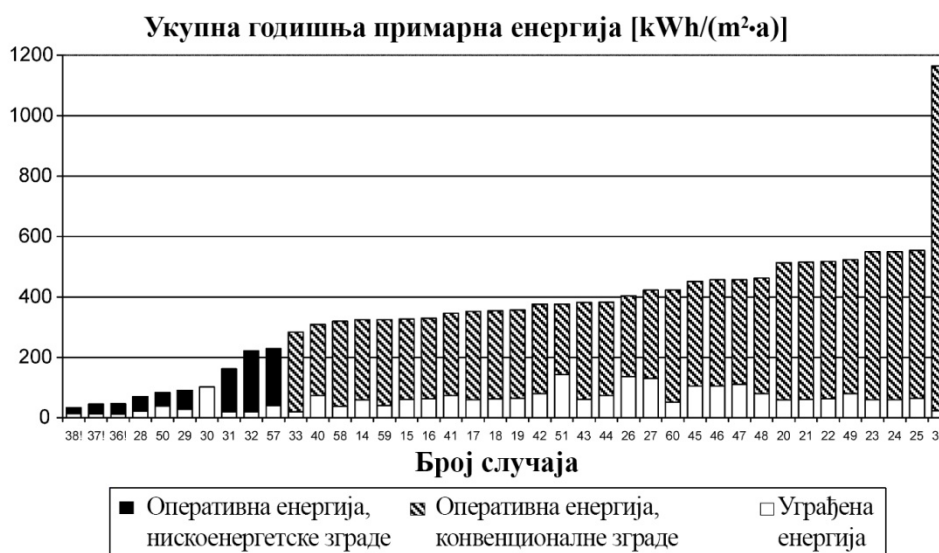
Конвенционалне зграде на годишњем нивоу троше енергију од 150 до 400 kWh/(m²·a) током свих фаза животног циклуса (Ramesh et al., 2010). Код оваквих кућа се сматра да оперативна енергија има заступљеност у распону од 80 до 90% од укупне енергије животног циклуса (Karimrouf et al., 2014). Однос уграђене и оперативне енергије конвенционалних стамбених зграда је приказан у дијаграму 7. Током фазе коришћења, конвенционалне зграде већину оперативне енергије троше на потребе за достизање топлотног комфора, без обзира што ова потрошња између осталог зависи од животних навика људи. За разлику од конвенционалних, код нискоенергетских кућа не постоји ниједан појединачни вид потрошње који доминира међу осталим видовима потрошње оперативне енергије. Видови потрошње енергије (грејање, хлађење и вентилација, припрема СТВ, осветљење и употреба електричних уређаја) у нискоенергетским зградама су једнаког значаја. Пошто се енергија смањује колико год зграда и њени спољашњи услови то дозвољавају, потрошња једног уређаја или потрошња у фази транспорта у енергији животног циклуса нискоенергетских зграда, могу да буду веома важни, иако се при разматрању конвенционалне зграде могу занемарити. Што је мања вредност оперативне енергије зграде, то је значајније разматрање потрошње енергије са аспекта уграђене енергије и енергије животног циклуса зграде (Blengini, Di Carlo, 2010).



Дијаграм 7. Примарна енергија животног циклуса конвенционалних стамбених зграда са усаглашеним мерним јединицама. Извор: Ramesh et al., 2010, p. 1597

Унапређење енергетских својстава конвенционалне и достизање карактеристика нискоенергетске зграде мења удео оперативне и уграђене енергије у енергији животног циклуса. Поступци оваквих унапређења захтевају примену енергетски интензивних грађевинских материјала, техничких инсталација и других компоненти. Њихови производни процеси захтевају потрошњу значајне количине енергије, нпр. полистирен, врата и прозори алуминијумских оквира и стакла пуњених ксеноном, технологије које производе енергију из ОИ и оне компоненте зграде које садрже енергетски интензивне материјале као што су алуминијум или бакар. Замена енергетски интензивних компоненти при одржавању енергетских својстава зграде, у преосталом животном веку, повећава удео уграђене енергије у енергији животног циклуса. Број циклуса замене зависи од века компоненте и дужине преосталог животног века куће, а обухвата енергетску потрошњу свих фаза кроз које прође примењена компонента: од екстракције сировина из природне средине до одлагања на депоније или рециклаже, осим фазе коришћења зграде.

Нискоенергетске зграде имају удео уграђене енергије у енергији животног циклуса до 60% (Huberman, Pearlmutter, 2008), односно, у распону од 40 до 60% (Karimpour et al., 2014). Поређењем конвенционалне куће и куће изграђене испуњавањем услова стандарда пасивне куће, очигледна је уштеда у потрошњи оперативне енергије друге куће. Студија случаја две једнопородичне куће у Норвешкој, изграђене према ова два стандарда, показује да је укупна потрошња примарне енергије пасивне куће мања за 24 до 38% у поређењу са конвенционалном. Резултати се односе на пасивну кућу са четири варијанте система за грејање: грејање на електричну енергију, електричну енергију и дрво, електричну енергију и топлотне колекторе, и електричну енергију и топлотну пумпу; и конвенционалну кућу која за грејање користи електричну енергију (Dahlstrøm, Sørnes, Eriks, 2012). Истраживање 60 студија случаја о односу енергије животног циклуса нискоенергетских и конвенционалних кућа закључује да је потрошња примарне енергије пасивне куће мања за фактор 3 у односу на потражњу еквивалентне конвенционалне зграде (Sartori, Hestnes, 2007). Однос уграђене и оперативне примарне енергије у конвенционалним и кућама ниске потрошње енергије је приказан у дијаграму 8.



Дијаграм 8. Примарна енергија животног циклуса конвенцијалних и зграда ниске потрошње енергије са усаглашеним мерним јединицама. Извор: Sartori, Hestnes, 2007, р. 25

4. ПОДАЦИ И ПРЕТПОСТАВКЕ ЗА МЕТОДОЛОШКИ ПОСТУПАК ПРОЦЕНЕ ЕНЕРГИЈЕ ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА КУЋА У СРБИЈИ

4.1. Методолошки поступак процене уграђене енергије

Србија још увек не располаже подацима неопходним за прорачун уграђене енергије током животног циклуса зграде. Истраживачке организације до сада нису спроводиле научна истраживања уграђене енергије која обухватају прецизна мерења потрошње енергије непосредно на терену, односно, на местима где се ваде сировине из природне средине, у постројењима за израду грађевинских производа, на грађевинској парцели током изградње, унапређења и рушења породичних кућа, и током различитих поступака транспорта. Неопходни подаци за прорачун уграђене енергије зграда у Србији се превасходно односе на:

- вредности иницијалне уграђене енергије у грађевинске материјале произведене у домаћим фабрикама, односно, потрошња енергије у оквиру граница система од колевке до капије,
- јасно утврђене поступке за редовно одржавање зграда и временском периоду њиховог понављања, као и податке о животном веку грађевинских материјала произведених у земљи, који су неопходни за процене накнадне уграђене енергије у зграде,
- и податке о третирању грађевинских материјала током и након рушења зграде, као и податке о поступцима за њихову поновну употребу, рециклажу, сагоревање или одлагање на депоније, који су неопходни за процену енергије рушења.

Отежавајућа околност за мерење иницијалне и накнадне уграђене енергије је чињеница да још није формирана национална база података која обухвата потрошњу енергије у прве три фазе животног циклуса зграда, од вађења сировина до финализације производње грађевинских материјала и производа израђених у земљи. Домаћи произвођачи грађевинских материјала не располажу подацима о количини потрошене енергије у оквиру граница система од колевке до капије. Они такође немају обавезу да уврсте податке о уграђеној енергији у званичне спецификације својих производа. У поређењу са процесима производње који се

одвијају у развијеним земљама, у Србији се истиче честа појава застарелог машинског погона, који са аспекта енергетске потрошње има двојак утицај. Посматрано из једног угла, застареле или превазиђене технологије и грађевинске машине у односу на савремене, захтевају другачије количине енергије за погон и употребу. Из другог угла, недостатак грађевинских машина у фабрикама у Србији се често надомешта физичким радом појединаца који не утиче на повећање количине потрошене енергије.

У Србији не постоје постројења која би се на свеобухватан начин бавила проблематиком одговарајућег третирања компоненти зграде током и након рушења зграде, са циљем сортирања и обраде оних грађевинских материјала који могу да се искористе за изградњу нове зграде и на тај начин не утичу на повећање уграђене енергије њеног животног циклуса¹⁷. Како у Србији тако и у околини града Сомбора, присутан је одређени број дивљих депонија на које се врши неконтролисано одлагање отпада. Није познат податак у којој мери је могуће искористити ове депоноване материјале и у којој мери су могуће уштеде енергије у односу на укупну уграђену енергију током животног циклуса зграде. Може се рећи да су количине рециклираних грађевинских материјала, производа и система искоришћених за поновну изградњу зграда у Србији готово занемариве. Напомиње се да потенцијалне уштеде у количини потрошене енергије постигнуте рециклажом или поновном употребом материјала, не одузимају се од укупне суме енергије животног циклуса исте зграде. Не постоји заједнички споразум научне заједнице о приписивању ове уштеђене енергије истој, срушеној, згради.

4.1.1. Базе података уграђене енергије у компоненте зграде

Иностране базе података систематизују бројчане вредности уграђене енергије током производње грађевинских материјала, производа и система. Подаци о уграђеној енергији јединичне мере компоненте зграде, потекли из различитих база, најчешће немају истоветне бројчане вредности. Базе имају отворени или затворени приступ који се врши преко интернет сајтова. За разлику

¹⁷ Рециклажни центар у Сомбору спроводи поступке рециклаже појединих материјала из отпада домаћинства, нпр. пластичне ПЕТ амбалаже и папир, али не и грађевинских материјала.

од отвореног, затворени приступ захтева претплаћивање ради добијања одобрења за употребу података о уграђеној енергији. Истраживања која примењују LCA или LCEA методологију за анализу енергије животног циклуса зграда¹⁸ често користе податке из следећа два извора:

- Екоинвент - Центар за инвентаре животног циклуса
(енг. Ecoinvent - the Centre for Life Cycle Inventories) и
- Инвентар угљеника и енергије
(енг. Inventory of Carbon and Energy - ICE).

Екоинвент верзија 3.1 (Weidema et al., 2013) табеларно приказује сетове података за производе и активности структуриране на начин да сумирају одговарајуће јединичне процесе, инвентаре животних циклуса и оцене утицаја животних циклуса. Подаци оцене утицаја животног циклуса производа и процеса су систематизовани у односу на примењени метод за њихово утврђивање¹⁹. Уграђена енергија производа и активности се процењује методом кумулативне енергетске потражње (енг. cumulative energy demand - CED), израженом у облику примарне енергије за јединицу производа или активности. Метод процењује кумулативну енергију за процесе производње компоненти, инфраструктуру, фабричка постројења, сировине, помоћне и потрошне материјале.

ICE верзија 2.0 (Hammond, Jones, 2011) садржи податке о уграђеној енергији и уграђеном угљен-диоксиду компоненти зграде. ICE база систематизује податке који су резултат примене LCA методологије у складу са међународним стандардом ISO серије 14040. Екоинвент и ICE базе података се разликују са више аспеката, нпр. специфичност методологија за прикупљање података, различите границе обухвата, број обрађених компоненти и др. Компаративна анализа систематизованих података приказаних у профилима грађевинских производа и активности у ICE и Екоинвент базама, приказана је у табели 2.

¹⁸ Подаци из Екоинвент базе су употребљени у студијама Dadoo, Gustavsson, Sathre, 2014; Beney, Attia, Andersen, 2013; Paleari, Lavagna Campioli, 2013; Dahlström et al., 2012; Rossi, Marique, Reiter, 2012; Verbeeck, Hens, 2010; а подаци из ICE базе у студијама Atmaca, Atmaca, 2015; Slavković, Radivojević, 2015; Pinky, Palaniappan, 2014; Hernandez, Kenny, 2010, 2008.

¹⁹ Свеобухватни подаци на интернет презентацији су структурирани за следеће методе: енг. CML, Cumulative energy demand, Cumulative exergy demand, Eco-indicator, Ecological footprint, Ecological scarcity, Ecosystem damage potential, EDIP, EPS, IMPACT, EPCC, ReCiPe, TRACI и USEtox (Ecoinvent Centre, 2015). Опис појединачних метода се налази у литератури (Hischier et al., 2010).

Табела 2. Компаративни приказ података приказаних у профилима грађевинских производа ICE и Екоинвент база података

База података	ICE верзија 2.0	Екоинвент верзија 3.1
Параметар	Уграђена енергија	Кумулативна енергетска потражња
Анализирана јединица	Материјали	Активности и производи
Структура сета података јединице	Структура целог сета: - број података и статистичке информације о њиховим изворима, - образложења и коментари, - графикони односа уграђене енергије и временског оквира мерења - извори енергије, - уграђени угљен-диоксид и - физичка својства материјала.	Структура дела сета о оцени инвентара животног циклуса: - основни подаци, - моделовање и администрација, - јединица процеса протока материјала, - својства протока материјала и - кумулативни LCIA резултати (обухватају CED).
Методологија прикупљања података	Преузимање из јавних домена: монографије, зборници текстова, чланци, технички извештаји, базе података истраживачких организација и др. са утврђеним критеријумима одабира.	Преузимање података из литературе и попуњавање упитника од стране представника компанија које обављају активности трансформације или транспорта производа.
Приказ енергетске потрошње по појединачним изворима енергије	Угаљ, течни нафтни гас, нафта, природни гас, електрична енергија и др.	ОИ: биомаса, геотермална, соларна, енергија воде, енергија ветра; необновљиви извори: фосилна горива, нуклеарна енергија, шуме.
Структурирање података	Према структури производа <i>поткатегије</i> описују специфичне форме материјала, нпр. пуно дрво, ламинат, медијапан, осб плоче, иверица и др. За сваку поткатегију, извори података се групишу и статистички обрађују у зависности од састава материјала, нпр. процентуална заступљеност рециклираног садржаја.	Према третирању протока улазних и излазних материјала, <i>три модела система</i> дефинишу систем правила по којима се врши моделовање и прорачун, и који показује корелације између различитих сетова података. Нпр. излазни материјали једне активности, као што су споредни производи или отпад, постају улазни материјали друге активности.

База података	ICE верзија 2.0	Екоинвент верзија 3.1
Приказ различитих вредности уграђене енергије	Приказане у зависности од садржаја примарног (из сировина) и секундарног (рециклираног) материјала. Статистичка обрада извора према: - просечној вредности, - стандардним девијацијама, - минималној и максималној вредности уграђене енергије.	Приказане у зависности од изабраног <i>модела система</i> : - алокација, искључивање по класификацији (енг. allocation, cut-off by classification), - алокација, уобичајено за екоинвент (енг. allocation, ecoinvent default), - замена, последично, дугорочно (енг. substitution, consequential, long-term).
Географско одређење	Велика Британија, Европа, свет и др.	Швајцарска, Немачка, Европа; појединачни континенти и државе.
Временско одређење	Графикон приказује однос времена мерења/моделовања и вредности уграђене енергије из различитих извора података.	Временски период мерења/моделовања.
Сет података такође обухвата	- физичка својства материјала, - границе система, - специфични коментари, - и др.	- опште образложење о активности која је мерена, - границе система, -образложење технолошког процеса, -и др.
Извори	Hammond, Jones, 2011, 2008, 2008a	Weidema et al., 2013; Hischer et al., 2010; Ecoinvent Centre, 2015

Компаративна анализа података у табели 2 приказује специфичности база података, које су релевантне за одабир одговарајућих података за примену модела за оцену односа уграђене и оперативне енергије током животног циклуса породичне куће. Иницијална уграђена енергија у изради грађевинских производа се сагледава на различите начине. ICE база разматра концепт уграђене енергије у материјале, док Екоинвент третира активности које трансформишу или активности које транспортују неки производ. Оба поступка се у овом одељку описују термином *израда компоненте зграде*. Потом, ICE база се превасходно бави статистичком обрадом и анализом података преузетих из доступних извора указујући на најзаступљеније и граничне (минималне и максималне) резултате истраживања. Екоинвент има отворени позив на интернет презентацији за све компаније које желе да на систематизовани начин унесу податке о утицајима својих активности и производа на животну средину.

Изузетно значајан аспект је начин третирања састава компоненти зграде, односно, начин праћења улазних и излазних података током процеса израде. ICE база се бави обрадом и статистичком анализом вредности уграђене енергије у израду компоненти зграде из различитих извора података. База броји оне изворе који пружају податак за производе истоветне структуре. На примеру алуминијума, детерминишу се извори за претежно рециклирани алуминијум, алуминијум са 50% рециклираног садржаја, алуминијум без рециклираног садржаја, алуминијум других спецификација или алуминијум без спецификација (Hammond, Jones, 2011). За сваку од ових наведених категорија наводи се број извора података, просечне, минималне и максималне вредности уграђене енергије, као и стандардне девијације у вредностима. Са друге стране, Екоинвент третира израду грађевинског производа као сложени процес који се не разматра самостално, већ је везан за израду другог производа. Пратећи улазне и излазне податке процеса, осим примарног грађевинског производа, класификују се споредни производи, материјали за рециклажу и отпад. Начин приписивања њихових утицаја на животну средину израдама различитих производа се дефинише моделима система²⁰ који утврђују систем правила према којима се спроводе прорачуни и

²⁰ За више података о појединачним моделима система погледати у *Преглед и методологија. Смернице о квалитету података за Екоинвент базу верзије 3* (енг. Overview and methodology. Data

моделовање. Нпр, материјали за рециклажу се могу сматрати као излазни материјали израде првог, и улазни материјали израде другог грађевинског производа. Екоинвент на овај начин пружа три сета података за исти производ, чије бројчане вредности међусобно одступају, уз напомену да се прорачун на нивоу студије за све анализирани компоненте врши у оквиру искључиво једног модела система. Екоинвент база података на овај начин обезбеђује прецизност приликом сумирања преузетих података, у зависности од потреба појединачних студија.

4.1.1.1. Кумулативна енергетска потражња

CED је метод који указује на потрошњу енергије и одговарајуће утицаје на животну средину који се приписује животном циклусу неког добра или услуге. Овај податак указује на „потенцијалне уштеде енергије у сложенем међуодносу дизајна, производње, употребе и одлагања” (Verein Deutscher Ingenieure [VDI] 1997, цитирано у Hischer et al., 2010, p. 33). CED се примењује за поређење LCA студија чији су резултати изражени у јединицама примарне енергије, за индикацију одговарајућих негативних утицаја на животну средину, за проверу веродостојности постигнутих LCA резултата и за једноставне детекције значајних грешака (Hischer, et al., 2010). Екоинвент база података структурира CED индикатор на начин да обухвата осам носилаца примарне енергије из необновљивих и обновљивих извора, приказаних у прилогу В, табели 34.

CED указује на негативне утицаје животног циклуса производа или активности на животну средину. Свеобухватни начин сагледавања утицаја на животну средину се постиже анализирањем резултата примене и осталих метода обухваћених Екоинвент базом података.

quality guideline for the ecoinvent database version 3) (Weidema et al. 2013), одељак 14 *Модели система и прорачун кумулативних сетова података система* (енг. System models and computation of accumulated system datasets).

Обе базе података, ICE и Екоинвент, сматрају се одговарајућим за употребу у овом истраживању јер располажу обрађеним и поузданим подацима о потрошњи енергије током производње компоненти зграде. Резултат компаративне анализе метода, поставки и структуре сетова података из база; начина третирања протока материјала током израде грађевинских производа и образложења CED методе, је одређење за преузимање података из Екоинвент базе која се редовно ажурира и пружа обиман број података за више од 11.300 активности (Ecoinvent Centre, 2015).

4.1.1.2. Преузимање података из базе Екоинвент

Екоинвент пружа CED вредности изражене у мегаџулима по еквивалентној мерној јединици [MJ/Eq] за активности и производе. Преузимање података се обавља приступом на Екоквири [EcoQuery] страницу интернет сајта Екоинвент базе²¹ (EcoQuery, 2015). Један сет података, између осталог, садржи информације о оцени утицаја животног циклуса активности трансформације или трансфера производа. Пример сегмента једног преузетог сета података указује на тип информација значајних за истраживање, њихове предности и недостатке.

Пример сегмента сета података под називом „производња опеке, RER” подразумева активност трансформације производа са просечним бројчаним вредностима за територију Европе. Значајне информације за дисертацију су (Ecoinvent Centre, 2015):

- опште информације о називу активности, географско одређење и просечне бројчане вредности о потрошњи енергије добијене корекцијом и прилагођавањем података преузетих од произвођача и из литературе,
- границе система одређују почетак и завршетак активности, од колевке до складиштења произведене и запаковане опеке у

²¹ Податке је могуће преузети и у електронском формату прилагођеном употреби у једном од LCA компјутерских програма као што су (енг.) SimaPro, GaBi, Umberto, openLCA, eBalance, EIME, Quantis Suite, Team 5 и REGIS. Екосполд 2 [ecoSpold] је формат који се конвертује у xml или xmlx (Ексел) формат (Ecoinvent Centre, 2015).

циглани, а обухватају дробљење, мешање, пластифицирање, складиштење, формирање, сечење, сушење, печење, утовар, паковање и складиштење опеке,

- технолошко одређење потврђује да је ниво примењених технологија данашњи,
- временско одређење детерминише почетак и завршетак временског периода за које важе дати подаци, од 1992. до 2014,
- CED метод наводи податке за производњу 1 kg опеке.

Појединачно су наведене вредности енергије у јединици MJ/kg за поткатоорије обновљивих и необновљивих ресурса енергије (прилог Б, табела 34).

Пример сегмента сета података под називом „транспорт, теретни, камион 3,5-7,5 t EURO 3, RER”, подразумева активност транспорта производа са просечним бројчаним вредностима за територију Европе. Значајне информације су (Ecoinvent Centre, 2015):

- опште информације о називу активности, просечним вредностима и географском одређењу. Просечне бројчане вредности се односе на сет података за цео животни циклус транспорта, односно, изградњу, употребу, одржавање и завршетак употребе возила и путне инфраструктуре. Опште информације се односе на моделе, методе мерења, претпоставке и изворе података о потрошњи горива, емисијама, и др,
- границе система одређују почетак и завршетак активности, од колевке до завршетка транспорта и обухватају сагоревања горива у мотору, укључујући улазне податке о инфраструктури, камионима и мрежи путева, материјале и поступке за одржавање и гориво за путовање,
- технолошко одређење указује да је технолошки ниво застарео уз коментар да је транспорт камионом одређен у односу на тежину возила и стандарде емисионих технологија (EURO-стандард).

- временско одређење утврђује почетак и завршетак временског периода за које важе дати подаци, од 2009. до 2014,
- CED метод наводи податке за транспорт изражене 1 t·km. Појединачно су наведене вредности енергије у јединици MJ/kg за поткатоорије обновљивих и необновљивих ресурса енергије (прилог Б, табела 34).

4.1.1.3. Недостаци преузимања података

Недостатак преузимања података из базе је очекивани степен непрецизности јер се тачна вредност уграђене енергије може закључити само сложеним анализама технолошких процеса производње грађевинских материјала, поступака испоруке, уградње и демонтаже зграде, и одговарајућих детаљних мерења на местима где се одвијају ови процеси. Анализа два парцијално приказана сета података из базе Екоинвент и њихово уопштавање до нивоа свих неопходних преузетих података о активности трансформације и транспорта производа, указује на следеће недостатке:

- географско одређење преузетих података за Европу се често заснива на прилагођавању иницијалних података са једног ограниченог дела европске територије. Поједини сетови носе географско одређење „Европа без Швајцарске” или „Европа без Немачке” док сетови података за исту активност са одређењем „Европа” нису присутни.
- временско и технолошко одређење преузетих података се често не подудара са временским одређењем фазе животног циклуса породичне куће или енергетске категорије за коју се рачуна енергетска потрошња:
 - иницијална уграђена енергија се приписује временском периоду изградње породичне куће. Временско и технолошко одређење преузетих података у већини сетова

- података се не подудара са временом када је референтна породична кућа грађена,
- уграђена енергија за транспорт грађевинских производа се односи на тип возила дефинисан европским стандардима о емисијама. Без обзира на временско одређење фазе животног циклуса транспорта (прошло време изградње куће, предвиђено време унапређења куће и време рушења куће кроз више деценија) и актуелног стандарда за возило, врши се преузимање једнаких података за потрошњу возила приликом испоруке материјала,
 - накнадна уграђена енергија се приписује временском периоду у будућности, а прорачун потрошње енергије укључује податке садашњих (важећих) временских и технолошких одређења,
- подаци се преузимају за компоненте зграде као што су опека, полистирен, иверица и др, и преносе директно у инвентар животног циклуса зграде. Поједине компоненте захтевају преузимање више података, нпр. за прорачун уграђене енергије у прозор се преузимају вредности података за оквир и стакла које се потом сумирају; за прорачун уграђене енергије у водоводне цеви или систем засенчења се преузимају вредности података за производњу јединичних мера примењених материјала.

Преузети сегменти сетова података из Екоинвент базе се сматрају одговарајућим и валидним показатељима енергетске потрошње за потребе овог истраживања. Недостаци се односе на одступања географског одређења (територија Србије), временског и технолошког одређења (технологије производње у периоду изградње, одржавања, унапређења и рушења куће).

4.1.2. Математички модели за прорачун уграђене енергије

Математички модели коришћени у истраживањима животног циклуса зграда су систематизовани и класификовани у четири групе (Abanda, Tah, Cheung, 2013):

- модели уграђене енергије и гасова стаклене баште,
- модели грађевинског отпада,
- модели цене изградње и
- модели односа цене и времена изградње зграде.

Анализа се усредсређује на прву групу математичких модела.

Математички модели за прорачун уграђене енергије током животног циклуса зграда су се формирали независно једни од других. Развој ових математичких модела у иностраним студијама је веома ограничен и неусклађен. Модели имају широку примену за симулацију, анализу и предвиђање негативних утицаја зграда на животну средину (Abanda et al., 2013).

Релевантни математички модели за прорачун уграђене енергије су систематизовани у табели 3. Приказани модели имају за циљ процену иницијалне уграђене, накнадне уграђене или енергије рушења зграде, и заснивају се на методи анализе процеса, односно на принципима блиским инвентару животног циклуса (одељак 3.1.). Табела 3 наводи обухват једначине, математичку једначину, варијабле и извор модела.

Табела 3. Систематизација и анализа математичких модела преузетих из литературе

Обухват	Једначина	Ознака	Варијабле	Извор
Иницијална енергија: од колевке до капије и фаза изградње	$EE_i = \sum m_i \cdot M_i + E_c$	(4.1.)	EE_i иницијална уграђена енергија у зграду; m_i количина грађевинског материјала i ; M_i енергија по мерној јединици материјала i ; E_c енергија за изградњу зграде.	Ramesh et al., 2010
Накнадна енергија: од колевке до капије	$EE_r = \sum m_i \cdot M_i \cdot \left[\left(\frac{L_b}{L_{mi}} \right) - 1 \right]$	(4.2.)	EE_r накнадна уграђена енергија у зграду; m_i количина грађевинског материјала i ; M_i енергија по мерној јединици материјала i ; L_b животни век зграде; L_{mi} животни век материјала i .	
Иницијална или накнадна енергија: од колевке до капије ²²	$I_{mi} = \sum_{j=1}^n (1 + \lambda_j) \cdot m_j \cdot \mu_{ji}$	(4.3.)	I_{mi} утицај i материјала; m_j количина материјала j ; λ_j фактор отпада материјала j ; μ_{ji} фактор емисија i материјала j .	Guggemos, 2003; Chen, Zhu, 2008, парафразирано у Abanda et al., 2013
Иницијална или накнадна енергија: уградња материјала у зграду ²³	$I_{qi} = \sum_{j=1}^3 \left(K_{ij} \sum_{l=1}^n P_{jl} \cdot T_{jl} \right)$	(4.4.)	I_{qi} утицај уградње I одређеног извора напајања K_{ij} фактор емисије за различите изворе напајања [g/ kWh]; P_{jl} снага појединачних машина [kW]; T_{jl} укупно време употребе различитих машина [h].	

²² „Једначине се могу употребити за процену грађевинских пројеката. Узимају у обзир фактор отпада и веома су прикладне за прорачун уграђене енергије и угљен диоксида” (Abanda et al., 2013).

²³ *ibid.*

Обухват	Једначина	Ознак а	Варијабле	Извор
Иницијална или накнадна енергија: од колевке до капије	$EI_{j,imp}^{manuf} = \sum_{i \in j} (M_i^{manuf} \cdot IF_{i,imp}^{manuf})$	(4.5.)	$EI_{j,imp}^{manuf}$ вредност индикатора imp који је резултат производње елемента зграде j ; M_i^{manuf} маса произведеног материјала i [kg] а обухвата све губитке током транспорта и уградње; $IF_{i,imp}^{manuf}$ вредност индикатора imp који је резултат производње 1 kg материјала i [impact/kg].	Favre, Citherlet, 2009, 2008
Иницијална, накнадна или енергија рушења: транспорт	$EI_{j,imp}^{A \rightarrow B} = \sum_{i \in j} \sum_t \left(\frac{M_{i,t}^{A \rightarrow B}}{1000} \cdot TD_{i,t}^{A \rightarrow B} \cdot IF_{t,imp}^{Transport} \right)$	(4.6.)	$EI_{j,imp}^{A \rightarrow B}$ вредност индикатора imp који је резултат транспорта елемента j од тачке A до тачке B ; $M_{i,t}^{A \rightarrow B}$ маса материјала i који је превезен од тачке A до тачке B возилом t [kg]; $TD_{i,t}^{A \rightarrow B}$ дистанца коју је прешло возило t испоручујући мат. i од тачке A до тачке B ; $IF_{t,imp}^{Transport}$ вредност индикатора imp који је резултат употребе возила t [impact/(t·km)].	
Накнадна енергија: од колевке до локације	$EI_{j,imp}^{Replac} = \sum_{i \in j} [Nr_i (EI_{i,imp}^{manuf} + EI_{i,imp}^{manuf \rightarrow constr})]$	(4.7.)	$EI_{j,imp}^{Replac}$ је вредност индикатора imp који је резултат замене материјала унутар елемента j ; Nr_i број замена мат. i током животног века зграде; $EI_{i,imp}^{manuf}$ вредност индикатора imp који је резултат производње материјала i ; $EI_{i,imp}^{manuf \rightarrow constr}$ вредност индикатора imp који је резултат транспорта материјала i до грађевинске локације.	
Енергија рушења: елиминација материјала рециклажом, сагоревањем или одлагањем на отпад	$EI_{j,imp}^{elim} = \sum_{i \in j} \sum_{l=1}^3 (P_{i,l} \cdot M_i \cdot IF_{imp,l})$	(4.8.)	$EI_{j,imp}^{elim}$ вредност индикатора imp који је резултат елиминације елемента j ; l тип елиминације: (1) рециклажа, (2) сагоревање, (3) одлагање на отпад; $P_{i,l}$ проценат елиминисаног материјала i ; M_i маса материјала i који се елиминише [kg]; $IF_{imp,l}$ утицај индикатора imp који је резултат елиминације 1kg материјала i за тип елиминације l [impact/kg].	

Обухват	Једначина	Ознака	Варијабле	Извор
Иницијална енергија: од колевке до капије	$Q_{manuf} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot \left(1 + \frac{w_i}{100}\right) \cdot M_i$	(4.9.)	Q_{manuf} енергија за производњу свих грађевинских материјала [kWh]; m_i количина грађевинских материјала i [t] w_i фактор отпада грађевинског материјала i произведеног током изградње зграде [%]; M_i енергија за производњу грађевинског материјала i [kWh/t].	Adalberth, 1997
Иницијална енергија: транспорт	$Q_{transp} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot \left(1 + \frac{w_i}{100}\right) \cdot d_i \cdot T_c$	(4.10.)	Q_{transp} енергија транспорта грађ. материјала [kWh]; m_i количина грађевинских материјала i [t] w_i фактор отпада грађевинског материјала i произведеног током изградње зграде [%]; d_i дистанца од произвођача материјала i до грађевинске локације [km]; T_c енергија за испоруку материјала [kWh/(t·km)].	
Накнадна енергија: од колевке до капије	$Q_{manuf} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot \left(1 + \frac{w_i}{100}\right) \cdot M_i \cdot \frac{\text{life span of a building}}{\text{life span of material}} - 1$	(4.11.)	Q_{manuf} енергија за производњу свих грађевинских материјала [kWh]; m_i количина грађевинских материјала i [t] w_i фактор отпада грађевинског материјала i произведеног током изградње зграде [%]; M_i енергија за производњу грађевинског материјала i [kWh/t]. <i>Life span of building</i> животни век зграде; <i>Life span of material</i> животни век материјала i .	

Обухват	Једначина	Ознака	Варијабле	Извор
Накнадна енергија: транспорт	$Q_{transp} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot \left(1 + \frac{w_i}{100}\right) \cdot d_i \cdot T_c \cdot \frac{\text{life span of a building}}{\text{life span of material } i} - 1$	(4.12.)	Q_{transp} енергија транспорта грађ. материјала [kWh]; m_i количина грађевинских материјала i [t] w_i фактор отпада грађевинског материјала i произведеног током изградње зграде [%]; d_i дистанца од произвођача материјала i до грађевинске локације [km]; T_c енергија за испоруку материјала [kWh/(t·km)]. <i>Life span of building</i> животни век зграде; <i>Life span of mat.</i> животни век материјала i .	Adalberth, 1997
Иницијална и, накнадна енергија: уградња материјала у зграду; енергија рушења: рушење зграде	$Q_{erect} = Q_{demol} = \sum_{j=1}^m p_j \cdot P_j$	(4.13.)	Q_{erect} енергија за различите процесе током изградње зграде [kWh]; Q_{demol} енергија за различите процесе током рушења зграде [kWh]; p_j количине процеса j (t, m ³ или m ²); P_j енергија потребна за процес j [kWh/t, kWh/m ³ или kWh/m ²].	
Иницијална и накнадна енергија: од колевке до капије	$EE = \sum_{i=1}^n V_i \cdot \rho_i \cdot E_i$	(4.14.)	EE уграђена енергија; V_i запремина материјала i [m ³]; ρ_i густина материјала i [kg/m ³]; E_i уграђена енергија у материјал i [MJ/kg].	Shukla, Tiwari, 2009
Уграђена енергија животног циклуса друге зграде: рециклажни потенцијал	$R_{pot} = \sum_{i=1}^n EE_i \cdot \text{Remaining lifetime}_i - E_{rec.proc\ i}$	(4.15.)	R_{pot} Рециклажни потенцијал EE_i уграђена ен. материјала i који би заменио рециклирани производ; <i>Remaining lifetime_i</i> преостали животни век рециклираног мат. i (процент предвиђеног века мат. који замењује рециклирани материјал i); $E_{rec.proc\ i}$ Ен. за процесе рециклаже и унапређивања мат. укључујући додатну ен. за демонтажу ради омогућавања рециклаже и транспорт.	Thormark, 2002

Математичке једначине 4.1 до 4.15, приказане у табели 3, имају јасне границе обухвата мерења и заснивају се на LCA методи анализа процеса. Компарацијом једначина, утврдиле су се следеће теоријске поставке:

- број и називи фаза животног циклуса зграда нису јединствени за све студије, међутим, енергетске поткатогеорије иницијалне уграђене, накнадне уграђене и енергије рушења су јасно назначене и одговарајуће за класификацију математичких једначина,
- математички модели немају јединствени алгебарски облик, не примењују једнак број и врсту варијабли нити симболе и мерне јединице. Разлике у варијаблама се посебно истичу код математичких модела који су првенствено формирану за оцену утицаја зграда на животну средину, а одговарајући су за рачунање уграђене енергије зграда.

Извори преузетих података коришћени у математичким једначинама

Улазни подаци у математичким једначинама потичу из различитих извора. Прорачун уграђене енергије током производње грађевинског материјала у границама система од колевке до капије преузима вредности енергије по јединици грађевинских материјала из базе Екоинвент 1.3 (Ecoinvent Centre, 2015) и извора (Andersen et al., 1993). Прорачун уграђене енергије за испоруку грађевинских материјала саобраћајним возилима током било које фазе транспорта као улазне податке о вредности енергије по јединици испорученог материјала и дистанци пређеног пута, употребљава базе Екоинвент 1.3 (Ecoinvent Centre, 2015) и извора (Tillman, Baumann, Eriksson, Rydberg, 1991). Прорачун уграђене енергије током процеса изградње, уградње материјала и рушења зграде, улазне податке о вредностима енергије по јединици процеса, преузима из извора (Andersen et al., 1993), а по количини третираног материјала, из базе Екоинвент 1.3 (Ecoinvent Centre, 2015). Фактор отпада је преузет из извора (Larsson, 1983).

4.1.3. Претпоставке значајне за процену уграђене енергије

Претпоставке обухватају предвиђени животни век куће и њених компоненти, податке везане за фазе животног циклуса транспорт, изградњу и уградњу компоненте у породичну кућу у Србији.

4.1.3.1. Животни век породичне куће и њених компоненти

Животни век зграде подразумева временски период од почетка употребе зграде до њеног рушења, односно, једнак је трајању фазе коришћења зграде. Дужина животног века породичне куће представља основу за планирање њеног редовног одржавања, односно, за процену броја циклуса замене појединих грађевинских материјала, производа и система, до поступка рушења куће.

Основни концепт животног века зграде и одговарајућих компоненти се заснива на разликовању техничког и естетског животног века. Технички животни век се завршава онда када производ застари или се истроши, а естетски животни век траје док су станари задовољни производом и док не одлуче да га замене (Adalberth, 1997). За утврђивање и примену модела за процену односа уграђене и оперативне енергије породичне куће, примењиваће се подаци о техничком животном веку компоненти зграде. Оштећења и замене материјала настале субјективним или естетским разлозима, пречестом или прекомерном употребом, намерним или случајним физичким оштећењима, запуштањем или екстремним временским непогодама се не разматрају у овом истраживању.

Неколико група извора података су релевантни за формирање претпоставке о предвиђеном животном веку типичне породичне куће у Сомбору и њених компоненти:

- сет ISO стандарда 15686²⁴,

²⁴ Сет стандарда 15686 се свеобухватно бави предвиђањем животног века, односно стандард 15686-1 поставља опште принципе и оквир (ISO, 2011), 15686-2 дефинише процедуре за процене животног циклуса (ISO, 2011a), 15686-3 дефинише преглед и оцену перформанси (ISO, 2002), 15686-5 цену животног циклуса (ISO, 2008), 15686-6 разматрање утицаја на животну средину (ISO, 2004), 15686-7 оцене перформанса за повратне информације о животном веку из праксе (ISO,

- спецификације произвођача грађевинских материјала, производа и система,
- прегледни научни чланци истакнутих међународних часописа и
- емпиријски подаци.

ISO стандард 15686 дефинише референтни и процењени животни век зграде и њених компоненти. Референтни животни век подразумева век који се очекује или предвиђа у референтном сету услова употребе, а процењени животни век подразумева век који се очекује под сетом специфичних услова употребе зграде. Серија стандарда ISO 15686 образлаже принципе методе фактора за предвиђање животног века. Метод се примењује на начин да се референтни животни век модификује применом серије фактора са циљем формирања процењеног животног века компоненте, употребом једначине:

$$ESLC = RSLC \cdot \text{фактор A} \cdot \text{фактор B} \cdot \text{фактор C} \cdot \text{фактор D} \cdot \text{фактор E} \cdot \text{фактор F} \cdot \text{фактор G} \quad (4.16)$$

где су ESLC процењени животни век копоненте (енг. *estimated service life of a component*), RSLC референтан животни век компоненте (енг. *reference service life of a component*), фактор А квалитет, фактор В дизајн, фактор С ниво извршења намене, фактор D унутрашња средина, фактор Е спољашња средина, фактор F унутрашњи услови и фактор G ниво одржавања зграде.

Бројне студије образлажу недостатке методе фактора и предлажу начине за њено прилагођавање (Straub, 2012; Re Сесони, Iacono, 2005; Nireki, Inukai, Motahashi, 2002). Серија ISO стандарда не наводи бројчане вредности нити распоне у оквиру којих се квантификују фактори. Проблем квантификације се додатно истиче код оних фактора који се оцењују на основу квалитативних особина подложних интерпретацији. Неки истраживачи уводе и изучавају бројчане распоне појединих фактора са циљем елиминације проблема субјективности код њихових одређивања (Re Сесони, Iacono, 2005). Други истраживачи предлажу диференцијацију између фактора, уводећи поделу на

2006), 15686-8 референтни животни век и оцену животног века (ISO, 2008a), 15686-9 упутства за оцену животног века (ISO, 2008b).

примарне и секундарне факторе (Bahr, Lennerts, 2010 парафразирано у Straub, 2012). Коначно, доводи се у питање погодност множења фактора због њихове међусобне корелације (Straub, 2012). Иако научни чланци не нуде анализе примене метода фактора на реални пример зграде и њених компоненти, научни кругови сматрају да метод обухвата апроксимативне процене бројчаних вредности већег броја узајамно зависних фактора.

Спецификације произвођача грађевинских материјала, производа и система су поуздан извор података о животном веку, међутим, произвођачи у Србији нису у обавези да истакну овај податак у оквиру спецификација својих производа, доступних на локалном тржишту. Аналитичка процена животног века је заснована на принципима грађевинарства, којима се процењује структурни интегритет, физичке и хемијске особености и деградација материјала због периода употребе. Процена не разматра утицај људског фактора, што узрокује одступања закључака о дужини животног века заснованих на теоријским поставкама, од животног века материјала коришћеног у грађевинској пракси.

Прегледни чланци истакнутих међународних часописа излажу резултате процене животног века стамбених зграда који варирају у распону од 30 до 100 година, не образлажући примењене методе. Анализа 24 студије случаја стамбених зграда из различитих земаља показује да половина испитаних зграда има предвиђени животни век од 50 година, а петина век од 100 година (Karimpour et al., 2014). Друга анализа 46 студија случаја породичних зграда закључује да две трећине зграда има предвиђени животни век од 50 година, а десетина век од 100 година (Ramesh et al., 2010).

Истраживања потрошње енергије током животног циклуса зграда обухватају веома сличне податке о животном веку појединачних компоненти зграде (Dahlström et al., 2012; Hernandez, Kenny, 2011; Adalberth, 1997), без систематизовања ових вредности за све примењене компоненте. Табела 4 сумира вредности о дужини века неких грађевинских материјала, производа и система преузетих из наведених извора.

Табела 4. Претпостављени животни век неких грађевинских материјала, производа и система

Категорије	Компоненте зграде	Предвиђени животни век	Извор
Опека, блокови, малтер и бетон	Склоп: спољашњи зидови, унутрашњи зидови, греде, темељи	животни век куће	Adalberth, 1997
Материјали за облагања	Кровни покривач	30	Dahlstrøm et al., 2012; Adalberth, 1997
	Хидроизолациони материјал, парна брана	30	Dahlstrøm et al., 2012
	Боје и тапете	10	Dahlstrøm et al., 2012; Adalberth, 1997
	Ламперија	30	Adalberth, 1997
	Керамичке плочице	30	Dahlstrøm et al., 2012
	Паркет	50	Adalberth, 1997
Термоизолациони материјали	Полистирен	50	Hernandez, Kenny, 2011
Прозори и врата	Двоструки и троструки спољашњи прозори и врата	30	Dahlstrøm et al., 2012; Hernandez, Kenny, 2011; Adalberth, 1997
Системи	Систем електричних инсталација	50	Adalberth, 1997
	Водоводни систем	50	Adalberth, 1997
	Систем за одводњавање атмосферске воде	30	Dahlstrøm et al., 2012; Adalberth, 1997
	Соларни термални системи за загревање воде са колекторима	20	Hernandez, Kenny, 2011
	Фотонапонске инсталације	25	Hernandez, Kenny, 2011
	Систем механичке вентилације са рекуперацијом топлоте	50	Hernandez, Kenny, 2011; Adalberth, 1997
	Бојлер	16	Adalberth, 1997

Појединачни подаци за неке материјале се могу наћи и на сајтовима Екоинвента (Ecoinvent Centre, 2015) и Гринспека [Greenspec] (2015).

Грант [Grant], Рис [Ries] и Киберт [Kibert] (2014) тврде да „употреба емпиријских података представља најтачнији метод за предвиђање животног века”. Формирање овакве свеобухватне базе података је захтеван процес, са аспекта методе прикупљања података и неопходног времена за њено спровођење. Овакви подаци су често ограничени на један број грађевинских материјала, производа и система (Grant et al., 2014). Емпиријски подаци о трајању периода употребе зграде и њених компоненти захтевају вишедеценијски временски период и зависе од карактеристичних услова сваког појединачног пројекта, нпр. начин уградње, коришћења и одржавања компоненти.

Закључује се да животни век зграде и њених компоненти варира и да се подаци доступни у литератури примењују као општи временски оквири, а не као

загарантоване границе које дефинишу прецизну временску одредницу након које зграда или њена компонента више неће бити употребљиве. Процена животног века у овом истраживању се утврђује у релацији са поступком унапређења енергетских својстава породичне куће, и детерминишу се:

- компоненте са животним веком једнаким целокупном веку породичне куће (нпр. материјали примењени за конструкцију темеља, спољашњих зидова, међуспратних таваница),
- компоненте које се уграђују поступком унапређења куће (нпр. фасадна столарија и браварија, термоизолациони материјали) и
- компоненте чији животни век захтева учесталу замену, независно од временске одреднице поступка унапређења (нпр. боја за кречење фасаде, зидова и плафона, материјали за облагања, цреп, ламинат, керамичке плочице и др.).

На основу анализе литературе и емпиријског искуства о периоду употребе породичних кућа у Сомбору и учесталости замене њихових компоненти, формира се претпоставка да предвиђени животни век породичне куће износи 100 година.

4.1.3.2. Транспорт компоненти зграде

Анализа математичких једначина за процену уграђене енергије у транспорт је резултовала варијаблима, односно, следећим улазним подацима:

- локације фабричких постројења и дистанце пређеног пута,
- врсте превозног средства за испоруку и
- масу грађевинских материјала, производа и система.

За куповину једне врсте грађевинског производа, тржиште нуди опције које потичу од бројних произвођача чије туре испоруке почињу са различитих локација фабричких постројења. Место од којег се мери дистанца испоруке се утврђује на неколико начина:

- предмер и предрачун радова садржи мали број информација о произвођачима неких примењених материјала. За иницијално уграђене материјале у постојећу породичну кућу наведени подаци о произвођачу се подразумевају почетном тачком испоруке,
- интервјуисање представника локалних стоваришта материјала резултују подацима о често продаваним и најзаступљенијим грађевинским материјалима на тржишту. Уколико за један материјал постоји више једнако заступљених произвођача, према информацији од испитаника, место производње се утврђује на основу критеријума дистанце. Локално произведени материјали имају приоритет над материјалима произведеним на удаљеним локацијама.

Дистанце испоруке су карактеристичне за све појединачне фазе животног циклуса које обухватају транспорт²⁵. Дистанца испоруке од капије фабрике до грађевинске локације се рачуна под претпоставком да се складиштење материјала врши непосредно уз фабричка постројења. Претпоставља се да се материјали превозе директно од производних постројења до грађевинске парцеле или индиректно од производних постројења до дистрибутивног центра (стоваришта материјала, продавнице и др.) до грађевинске парцеле. Дистанца испоруке од грађевинске парцеле до места за одлагање материјала након поступка одржавања, унапређења или рушења зграде се одређује за све елиминисане компоненте зграде на исти начин. Претпоставка је да се све компоненте одлажу на депонију у близини града при чему прелазе једнаке дистанце пута.

Испорука се врши употребом једне или више врста превозних средстава. Нпр. Војводина је центар опекарске индустрије Србије, па се опека превози једном врстом превозног средства од места фабрике до грађевинске парцеле. Други пр. показује да се шљунак након вађења из природне средине превози возилима воденог саобраћаја до дистрибутивног центра, и потом теретним

²⁵ Претпоставке се не формирају за испоруку материјала од места екстракције сировина из природне средине до фабричких постројења. Потрошња енергије за транспорт је обухваћена укупном вредношћу уграђене енергије током производње материјала, која се преузима из иностране базе података, а односи на енергију потрошену у оквиру граница система од колевке до капије.

возилима копненог саобраћаја до стоваришта материјала и/или грађевинске парцеле. Значајна превозна средства за истраживање су:

- лако комерцијално возило,
- камион бруто тежине возила од 3,5 до 7,5 t;
- камион бруто тежине возила од 7,5 до 16 t,
- камион бруто тежине возила од 16 до 32 t и
- баржа за унутрашње пловне путеве до 50 t.

Тежина испоручених грађевинских материјала, производа и система се изражава по јединици материјала m^3 (нпр. за пуну опеку), m^2 (нпр. за поцинковани лим), m (нпр. за димњачке цеви) и по комаду (нпр. за пећ за централно грејање). Претпоставка о маси компоненти зграде подразумева преузимање средњих вредности густине материјала, масе по површини, дужини или комаду компоненте зграде.

4.1.3.3. Изградња и уградња компоненте у зграду

Анализа математичких једначина за процену уграђене енергије у изградњу и уградњу компоненте у зграду резултовала је варијаблама, односно, следећим улазним подацима:

- врсте и снаге грађевинских машина,
- техничко-производни или практични учинак грађевинских машина
и
- количине грађевинских радова.

Врсте примењених грађевинских машина током изградње постојећих породичних кућа у Србији се преузимају или утврђују на основу неколико извора. Пројектна документација, технички цртежи (основе темеља, приземља, поткровља, крова, пресеци и изгледи фасаде породичне куће), технички опис, предмер и предрачун радова и увид у постојеће стање куће су поуздани извори о примењеним грађевинским материјалима, производима и системима током фазе изградње породичне куће. Књига инспекције или грађевински дневник су извори

о ангажовању радне снаге и примени грађевинских машина, начину уграђивања компоненти, евентуалним изменама техничких решења из пројектне документације, накнадних радова и др.

Значајан број постојећих породичних кућа у Србији је грађен без техничке документације и без вођења грађевинских дневника са подацима о врсти, броју и времену примене одговарајућих грађевинских машина. У случају да делови или целокупна техничка документација куће у Сомбору не постоје, претпоставке о врсти грађевинских машина се формирају на основу техничких фактора као што су врста и количине радова током изградње, врста одговарајућих технолошких процеса за изградњу и уградњу компоненте. Избор грађевинских машина се врши на основу локалних услова, који обухватају климатске услове, стање индустрије у земљи, природу терена на градилишту, прилаз градилишту, хидролошке услове и радне карактеристике одговарајућих машина (Anagnosti et al., 1965). Основне групе грађевинских машина²⁶ разматраних у истраживању су:

- машине за дизање и пренос терета (дизалице, кранови и др.),
- машине за земљане радове (багери, механичке лопате, булдожери и др.),
- оруђа за набијање земље (статички набијачи или ваљци, динамички набијачи или маљеве, вибрациони набијачи, и др.),
- машине за бетонске радове (мешалице, вибратори, машине за сечење и савијање арматуре и др.) и
- машине за обраду дрвета (тестере и машине за обраду скројених комада нпр. бушилице, брусилце и др.).

Теоријски учинак грађевинских машина подразумева рад машине под оптималним условима, а утврђује се на основу количине грађевинских радова и количине грађевинских материјала специфичних за анализирану породичну кућу, података о снази, капацитету и осталим карактеристикама грађевинске машине. *Техничар* је основни извор података о снази и капацитету појединачних машина

²⁶ Више о основним групама грађевинских машина погледати у Anagnosti et al., 1965. Наведене групе су довољне за потребе прорачуна уграђене енергије током фазе изградње и уградње грађевинског материјала у кућу, за одабране примере породичних стамбених кућа у Сомбору.

примењених у време изградње анализираних породичних кућа, који табеларно приказује распоне вредности снаге и капацитета машина (Anagnosti et al., 1965). Претпоставка је да су средње вредности наведених распона података одговарајуће улазне вредности у математичке једначине. Додатно, практични учинак грађевинских машина подразумева рад машина под условима на грађевинској парцели у време изградње. Практични учинак је резултат примене редукционих коефицијената на утврђене вредности теоријског учинка грађевинских машина. Бројчане вредности редукционих коефицијената су приказане у прилогу Ћ, табели 52.

4.1.4. Варијабле за парцијалне моделе уграђене енергије

Смернице за формирање математичког модела за процену категорије уграђене енергије који се може применити на породичне куће у Србији, унапређених енергетских својстава, подразумевају систематизацију података о варијаблима, мерним јединицама и одговарајућим изворима, за поткатогеорије уграђене енергије у табели 5. Варијабле се усвајају на основу специфичности базе података о уграђеној енергији Екоинвент, систематизованих математичких једначина од 4.1. до 4.15. у табели 3, и претпоставки о дужини животног века куће и компоненти, и свим фазама животног циклуса које се односе на транспорт, изградњу и уградњу компоненте у породичну кућу. Математички модел не обухвата процене оних вредности енергије које се сматрају занемаривим у вредности енергије животног циклуса зграде:

- енергија за појединачне поступке уградње, демонтаже и одлагања компоненти зграде у поткатогеорији накнадне уграђене енергије и
- енергија за појединачне поступке демонтаже и одлагања компоненти зграде у поткатогеорији енергије рушења.

Табела 5. Усвојене варијабле математичког модела за процену уграђене енергије у животном циклусу постојеће куће

Обухват		Варијабла	Мерна јединица	Извор података	
Иницијална уграђена енергија	Граница система од колевке до капије	Измерене количине компоненти зграде	kg, m, m ² , m ³ , ком.	- пројектна документација и - увид у постојеће стање куће	
		Коефицијент отпада материјала током првобитне изградње	-	- публиковане LCEA студије	
		Уграђена енергија по мерној јединици произведене компоненте зграде	MJ/kg, MJ/m, MJ/m ² , MJ/m ³ , MJ/ком.	- база података Екоинвент	
	Транспорт од капије до локације	Маса измерене количине компоненти зграде након изградње	Маса измерене количине компоненти зграде након изградње	t	- пројектна документација, - увид у постојеће стање куће, - спецификације произвођача, - национална регулатива (вредности густине материјала)
			Коефицијент отпада материјала током првобитне изградње	-	- публиковане LCEA студије
		Дистанца испоруке компоненти	Дистанца испоруке компоненти	km	- предмер и предрачун радова, - интервјуисање представника стоваришта грађевинских материјала и - интернет странице (мапе и руте пута)
			Уграђена енергија за испоруку јединичне масе компоненте по јединичној дужини пређеног пута, за врсту превозног средства	MJ/(t·km)	- база података Екоинвент и - интервјуисање представника стоваришта грађевинских материјала
	Изградња и уградња компоненте у зграду	Количина грађевинских радова	Количина грађевинских радова	kg, m ³ , m ² , m, ком.	- пројектна документација и - увид у постојеће стање куће
			Снага грађевинске машине	kW	- стручна литература
			Теоријски учинак грађевинске машине	kg/h, m ³ /h, m ² /h, m/h, ком/h	
Редукциони коефицијент учинка грађевинске машине			-		

Обухват	Граница	Варијабла	Мерна јединица	Извор података	
Накнадна уграђена енергија	Граница система од колевке до капије	Измерене количине компоненти зграде	kg, m, m ² , m ³ , ком.	- пројектна документација и - увид у постојеће стање куће - публиковане LCEA студије	
		Коефицијент отпада материјала током одржавања и унапређења зграде	-	- публиковане LCEA студије	
		Уграђена енергија по мерној јединици произведене компоненте зграде	MJ/kg, MJ/m, MJ/m ² , MJ/ m ³ , MJ/ком.	- база података Екоинвент	
		Број циклуса замене компоненте у предвиђеном укупном или преосталом животном веку куће	-	- спецификације произвођача, - публиковане LCEA студије и - емпиријски подаци	
	Транспорт од капије до грађевинске локације, од локације до места елиминације	Маса измерене количине компоненти коришћених или елиминисаних у поступцима одржавања и унапређења енергетских својстава	Маса измерене количине компоненти коришћених или елиминисаних у поступцима одржавања и унапређења енергетских својстава	t	- пројектна документација, - увид у постојеће стање куће, - спецификације произвођача и - национална регулатива (вредности густине материјала)
			Коефицијент отпада материјала	-	- публиковане LCEA студије
			Дистанца испоруке компоненти	km	- интервјуисање представника стоваришта грађевинских материјала и - интернет странице, мапе и руте пута.
			Уграђена енергија за испоруку јединичне масе компоненте по јединичној дужини пређеног пута за врсту превозног средства	MJ/(t·km)	- база података Екоинвент и - интервјуисање представника стоваришта грађевинских материјала
			Број циклуса замене компоненте у предвиђеном укупном или преосталом животном веку куће	-	- спецификације произвођача, - публиковане LCEA студије и - емпиријски подаци.
			Енергија рушења	Транспорт од грађевинске локације до места елиминације	Маса измерене количине елиминисаних компоненти у поступку рушења зграде
		Коефицијент отпада материјала	-	- публиковане LCEA студије.	
		Дистанца испоруке компоненти	km	- интернет странице, мапе и руте пута,	
		Уграђена енергија за испоруку јединичне масе компоненте по јединичној дужини пређеног пута за врсту превозног средства	MJ/(t·km)	- база података Екоинвент - интервјуисање представника стоваришта грађевинских материјала	

4.2. Методолошки поступак процене оперативне енергије

Методолошки поступци мерења оперативне енергије се разликују у зависности од разматраног периода употребе куће, пре и након поступака унапређења енергетских својстава. Одељак образлаже две тематске целине. Прва целина се односи на оперативну енергију која се троши у породичним кућама и обухвата енергију за грејање, хлађење, вентилацију, припрему СТВ, употребу електричних уређаја и осветљење. Друга целина образлаже компјутерску симулацију оперативне енергије и структурирана је према типовима података који се уносе у компјутерске програме, односно на климатске податке, геометријске податке и податке о осталим својствима зграде.

4.2.1. Оперативна енергија постојећих породичних кућа

Енергија којом се снабдевају зграде у Србији углавном потиче из необновљивих извора, угља, нафте и гаса. Према *Енергетском билансу РС за 2013. годину* учешће домаћинства у укупној потрошњи електричне енергије износи 52,58%, односно 14146 GWh (Републички завод за статистику [РЗС], 2014). Породичне куће у Сомбору се снабдевају електричном енергијом из јединственог електродистрибутивног система. Сматра се да су све породичне куће опремљене прикључком на електроенергетску мрежу и да енергију користе за грејање, хлађење, осветљење, припрему СТВ и употребу уређаја за домаћинство.

Најзаступљенији вид грејања породичних кућа у Војводини је помоћу индивидуалних ложишта на чврста горива од којих су најзаступљенији енергенти дрво, и потом угаљ. Грејање зграда се такође постиже претварањем електричне енергије у топлоту применом грејалица, термоакумулационих пећи, електричних радијатора и др. Наведена грејна тела се углавном примењују у појединим просторијама куће, и код оваквог вида грејања, одржавање топлотног комфора у целој кући је веома ретка појава. Насупрот томе, ређи вид грејања представља снабдевање породичних кућа топлотом из централизованог система (топловода). У делу године када топловод није у употреби, присутна потреба за догревањем простора се надомешта коришћењем грејних тела која за функционисање користе

електричну енергију. Наглашава се да је специфичност Војводине, у односу на Србију, развијенији систем гасовода који омогућава да се грејање значајног броја зграда постиже сагоревањем гаса. Иако је гасоводна мрежа у Сомбору развијена, не поседују све зграде до којих је мрежа разграната одговарајући прикључак, што је последица економских (новчаних) разлога.

Хлађење породичних зграда се спроводи постављањем клима уређаја у појединачним просторијама (активни системи). Према подацима Завода за статистику у 2013. години 32,9% домаћинстава у Србији²⁷, односно, 34,9% у Војводини је поседовало клима уређај (РЗС, 2014а). Постављање централизованих система за расхлађивање је веома ретка појава у породичним кућама у Србији.

За рад вештачког осветљења се троши енергија из електродистрибутивне мреже. Сматра се да све индивидуалне породичне куће у Србији користе систем вештачког осветљења у оним временским периодима током дана када природно осветљење не омогућава станару боравак, рад и коришћење простора.

Домаће тржиште нуди широки избор уређаја за домаћинство који се међусобно, између осталог, разликују по количини електричне енергије потребне за њихову употребу. Према подацима Завода за статистику, присуство електричних уређаја у домаћинствима у Војводини су наведени у прилогу *Снабдевеност домаћинстава трајним потрошним добрима* (РЗС, 2014а). У Војводини шпорет поседује 98,2% домаћинстава; фрижидер 65,6%; замрзивач 66,8%; комбиновани фрижидер са замрзивачем 43,7%, микроталасну пећ 42,4%; машину за прање судова 11,9%; машину за прање веша 93,9%; телевизор 97,8%; музички уређај 72,9% и персонални рачунар или лаптоп 53,4% (РЗС, 2014а).

Трансформација енергије из ОИ у електричну енергију или топлоту је веома ретка појава код породичних стамбених кућа у Србији, као и у Сомбору. Њихова примена је неразвијена иако су потенцијали за њену употребу задовољавајући. У Сомбору је присутно коришћење биомасе у форми огревног дрвета и пелета као енергента за грејање домаћинства. Од ОИЕ, за породичне

²⁷ Без података за Косово и Метохију

стамбене куће погодно је коришћење сунчеве енергије, геотермалне енергије и биомасе:

- сунчева енергија се употребљава за добијање електричне енергије применом активних соларних система; и за добијање топлоте која се примењује за загревање санитарне воде и загревање простора у ком се борави,
- геотермална енергија се употребљава применом топлотних пумпи за грејање и расхлађивање стамбеног простора и припрему СТВ. Може се рећи да је употреба сунчеве и геотермалне енергије кроз постављање активних система још увек у зачетку, и
- биомаса се користи у облику дрвне биомасе и пољопривредне биомасе (остаци у ратарству, воћарству, сточарству, виноградарству и примарној преради воћа). Потенцијал пољопривредне биомасе се највећим делом налази на територији Војводине али се незнатно користи свега око 2% (МРЕ, 2015).

4.2.2. Компјутерска симулација оперативне енергије

Процена потрошње енергије током фазе коришћења породичне куће се спроводи употребом компјутерског програма за нумеричку симулацију енергетских својстава зграде. Србија још не располаже националним програмом за прорачун оперативне енергије у зградама, и из овог разлога се за симулацију енергетске потрошње примењује програм *Пакет за планирање пасивне куће*, РНРР. Компјутерски програм РНРР 8 (2013) је развијен на Институту пасивна кућа у Дармштату у Немачкој. Програм спроводи нумеричку симулацију у складу са важећим европским прописима из области енергетске ефикасности и захтева унос одговарајућих података о згради и њеној околини. Као што је наведено у одељку 3.3.5, подаци које је неопходно унети у компјутерски програм се могу сврстати у следеће групе података:

- климатски услови средине,
- геометријске карактеристике зграде и њене околине и
- остала својства зграде²⁸:
 - карактеристике конструкције топлотног омотача и примењених грађевинских материјала и производа,
 - карактеристике термотехничких система и система који трансформишу енергију из обновљивих извора у топлоту или електричну енергију и
 - додатни подаци као што су број чланова домаћинства, унутрашње пројектне температуре, електрични уређаји за домаћинство, инфилтрација ваздуха и др.

Релевантни извори података, неопходни за симулацију потрошње оперативне енергије анализирани породичне куће су:

- постојећа пројектна документација, технички цртежи ситуације, основа, пресека, изгледа, технички опис, предмер и предрачун радова,
- увид у постојеће стање породичне куће, интервјуисање станара и попис електричних уређаја у домаћинству,
- национална регулатива о енергетској ефикасности, *Правилник о енергетској ефикасности зграда РС* (МГСИ, 2011),
- публикације Међународне организације за стандардизацију и Института за стандардизацију Србије,
- публикације Републичног завода за статистику,
- приручник за коришћење РНПП програма (Feist et al., 2013),
- компјутерски програм РНПП 8 (Passive House Institute [PHI], 2013),
- метеоролошка база података Метеонорм [Meteonorm] (Meteotest, 2015) и
- друге иностране студије (Sibelga initiative [SI], 2015).

²⁸ У научном истраживању се својства зграде односе на све карактеристике које нису обухваћене геометријским особинама и климатским условима, а које се додељују згради у програму за симулацију потрошње енергије РНПП.

Извори климатских података за различите градове у Србији су публикације Хидрометеоролошког завода, националне регулативе и интернет базе података. РНРР програм располаже уграђеним сетовима климатских података за градове широм света, међу којима се налазе и климатски подаци за Београд. Према препоруци приручника за коришћење РНРР програма, климатске податке за различите градове је у одговарајућем дигиталном формату могуће преузети са интернет сајта Метеонорм, метеоролошке базе података (Метеотест, 2015).

Пројектна документација куће пружа податке о геометријским карактеристикама зграде и примењеним грађевинским материјалима и производима, а релевантни прилози су ситуација, основе, пресеци, изгледи, технички опис и предмер и предрачун радова. Ове информације се такође могу утврдити непосредним прегледом породичне куће и вршењем одговарајућих мерења на грађевинској парцели и у њеној околини. Топлотне карактеристике грађевинских материјала и производа су наведене у *Правилнику о енергетској ефикасности зграда* (МГСИ, 2011) и обухватају топлотну проводљивост грађевинских материјала, коефицијенте пролаза топлоте за стакла и оквире, пропустљивост сунчеве енергије стакла и др. Додаје се да компјутерски програм РНРР садржи податке о сертификованим пуним и транспарентним елементима топлотног омотача (РНИ, 2015), који су по својим својствима потврђени као адекватни за изградњу зграда према захтевима стандарда пасивне куће.

РНРР приручник даје препоруке о примени система са механичком (принудном) вентилацијом у стамбеним зградама. Извори података о вентилационим системима су спецификације произвођача и подаци о сертификованим вентилационим системима (РНИ, 2015), уграђени у компјутерски програм. Одговарајући систем се изабере, а његове карактеристике се укључују у прорачун потрошње енергије.

Неопходни подаци за прорачун енергије за припрему СТВ обухватају димензије, топлотне карактеристике материјала водоводних цеви, температуру воде, режим коришћења итд. Подаци о димензијама се утврђују директним мерењима у анализираној згради, подаци о својствима материјала се преузимају из *Правилника о енергетској ефикасности зграда*, а присутна је и врста података

за коју РНРР приручник пружа препоручене вредности (нпр. топлота воде у цевима од 60°C и количина потрошене воде од 25 l по особи по дану). Такође, према *Правилнику*, методологија за прорачун енергетских својстава зграда обухвата податак да потребна топлота за припрему СТВ по јединици површине грејаног простора износи 10 kWh/m² (МГСИ, 2011, прилог 6).

Компјутерски програм РНРР прорачунава укупну потребну енергију за грејање и хлађење према европском стандарду EN 13790 чији је еквивалент SRPS EN ISO 13790 *Енергетске перформансе зграда - Прорачун енергије која се користи за грејање и хлађење* (Institut za standardizaciju Srbije [ISS], 2010). Компјутерска симулација годишње потрошње енергије за грејање породичних кућа након различитих нивоа унапређења енергетских својстава, резултат је разлике између укупних топлотних губитака и топлотних добитака у породичној кући, узимајући у обзир трансмисионе топлотне губитке, вентилационе топлотне губитке, топлотне добитке услед сунчевог зрачења и унутрашње топлотне добитке од људи и употребе електричних уређаја.

Симулација енергије добијене трансформацијом енергије Сунца у топлоту или електричну енергију користи следеће изворе података: спецификације произвођача топлотних пријемника сунчеве енергије или фотонапонских панела, резултате софтвера доступних преко интернета, и препоруке РНРР приручника. Подаци за одређивање положаја примењених система на анализираној породичној кући се преузимају из техничке документације. У компјутерском програму РНРР се за симулацију произведене енергије примењују постојећи подаци у програму, о врсти колектора и бојлера. Димензионисање малог система јужно оријентисаних топлотних пријемника или фотонапонских панела се врши према препорученој површини пријемника по особи од 1 до 2 m²/особа, и препорученој запремини резервоара од 70 до 100 l/особа (Feist et al., 2013).

Подаци за прорачун енергије за употребу електричних уређаја и осветљење пре унапређења куће се сакупљају интервјуисањем станара и пописивањем врста, броја и енергетских особености уређаја у домаћинству. Након компарације добијених резултата са вредностима потрошње електричне енергије у домаћинству очитаних са месечних рачуна, у компјутерски програм се уносе

подаци о врсти, учесталости коришћења и снази уређаја. Процене потрошње електричних уређаја након унапређења куће захтевају формирање претпоставки о употреби новијих модела уређаја са унапређеном ефикасношћу потрошње. Подаци се преузимају из истраживања о потрошњи енергије електричних уређаја у просечним домаћинствима неких земаља чланица ЕУ. Сибелга иницијатива (енг. Silbega initiative) је објавила податке о врсти, распону снаге и учесталости коришћења уређаја у просечном домаћинству у Бриселу (SI, 2015). Релевантан извор података су и подаци уграђени у РНРР програм, о врсти електричних уређаја и одговарајућој потрошњи енергије који се допуњују у зависности од анализираних зграда.

Просечан број чланова по једном домаћинству у Србији износи 2,88, према подацима Републичког завода за статистику РС (2011). Интервјуисање становника породичне куће је показало да у породичној кући живи 4 члана. Податак о реалном стању се усваја као референтан и уноси се у компјутерски програм за симулацију потрошње оперативне енергије.

5. УНАПРЕЂЕЊЕ ЕНЕРГЕТСКИХ СВОЈСТАВА РЕФЕРЕНТНЕ КУЋЕ

Генерални план града Сомбора 2007-2027 (Завод за урбанизам Сомбор [ЗУС], 2007) дефинише породичну стамбену изградњу као становање у приземним или спратним породичним стамбеним зградама, максималне спратности П+1+Пк (приземље + спрат + поткровље) уз могућност постојања сутерена на местима на којима конфигурација терена то дозвољава. Породична стамбена зграда може да има максимално четири стамбене јединице, а уз главну зграду на парцели може постојати пратећа (пословна) зграда и помоћна зграда. Генерални план такође наводи да се реконструкција и адаптација породичних стамбених зграда дозвољава под условима и правилима грађења дефинисаних за зону породичног становања.

5.1. Типична породична кућа у Сомбору

Анализом стамбене изградње у Србији је закључено да индивидуалне зграде чине 93% зграда, а слободностојеће 85% зграда у Војводини, имајући у виду да 45% анализираних стамбених изградњи припада сеоским подручјима²⁹ (Јовановић Поповић et al., 2012). Сомбор је карактеристичан пример војвођанског града чије су морфолошке трансформације урбане структуре биле под утицајем специфичног друштвено-историјског развоја (Пушић, 1987). Типологија породичних стамбених кућа у Сомбору и Србији и анализа других домаћих извора чине теоријску основу за одабир референтне породичне куће на коју се примењује модел за процену уграђене и оперативне енергије током животног циклуса зграде.

²⁹ Подаци о заступљености индивидуалних и слободностојећих зграда у Војводини су резултат ограниченог двостепеног пописа статистичког узорка, који обухвата анализу 1852 зграде. У првом степену је пописана свака трећа зграда од полазних тачака у административним окрузима, а у другом степену је интервјуисан представник сваког петог домаћинства пописаних зграда. Оба нивоа пописа су у складу са Табула пројектом и неопходним подацима за адекватно структурирање грађевинског фонда зграда (Јовановић Поповић et al., 2012).

5.1.1. Породичне куће у Сомбору и Србији

Релевантни извори о породичном стамбеном фонду у Сомбору, Војводини и Србији обухватају:

- Републички завод за статистику са подацима пописа становништва, домаћинства и станова у РС из 2011. године (РЗС, 2013, 2013а, 2013б, 2013в, 2013г, 2011)
- *Атлас породичних кућа Србије* (Јовановић Поповић et al., 2012) и *Национална типологија стамбених зграда Србије* (Јовановић Поповић et al., 2013) који наводе методологију истраживања стамбеног фонда Србије и резултујућу типологију са репрезентативним примерима зграда,
- *Методологија формирања типологије породичних кућа на подручју града Сомбора* (Јовановић Поповић, Slavković, 2012) и *Типологија породичних стамбених кућа града Сомбора. Класификација на основу опитних и специфичних критеријума* (Јовановић Поповић, Slavković, 2014) који обрађују податке из овде наведених извора и формирају методологију и типологију породичних кућа у Сомбору,
- Историјски архив у Сомбору са планском и картографском документацијом из различитих временских периода (Istorijski arhiv Sombor [IAS], 1878, 1837, 1825, 1698) са које се чита развој урбане матрице града, и
- Завод за урбанизам у Сомбору са новијом урбанистичком документацијом, генералним и детаљним плановима и ортофото снимцима града (ЗУС, 2007, 1995, 1984, 1968, 1968а).

Попис становништва, домаћинства и станова из 2011. године је поуздани извор о стању грађевинског фонда у Србији и Сомбору. Информације сумиране у званичним публикацијама Републичког завода за статистику прецизно показују опште стање станова у породичним зградама. Публикације наводе податке за Сомбор и Србију о броју и површини стамбених јединица (РЗС, 2013), о броју просторија у стану (РЗС, 2013а), опремљености стана инсталацијама и помоћним

просторијама (РЗС, 2013б), временском периоду изградње, површини станова, врсти зграде у којој се налази стан (стамбена зграда са 1, 2, 3 или више станова и станови у нестамбеним зградама), материјализацији спољашњег зида (тврди и меки материјали спољашњег зида), положају стана у згради (РЗС, 2013в) и о врсти енергента који се користи за грејање стана (РЗС, 2013г).

Национална типологија стамбених зграда Србије (Јовановић Поповић et al., 2013) и *Атлас породичних кућа Србије* (Јовановић Поповић et al., 2012) наводе свеобухватне податке о особеностима породичног стамбеног фонда у Србији. Монографије развијају критеријуме класификације према којима формирају типологију породичних кућа у Србији, приказују реалне репрезентативне примере породичних кућа и предлажу мере за њихову енергетску санацију. Основна полазишта за анализу кућа су архитектонско-урбанистички параметри (однос зграде и парцеле; однос са суседом; и величина зграде), параметри топлотних перформанси (облик зграде, однос запремине и површине; количина отвора на топлотном омотачу; и начин коришћења таванског и подрумског простора) и параметри који се односе на временски период изградње зграде (прописи о топлотној заштити, социо-политичко стање у друштву, систем градње и др.). Монографије образлажу развој методологије³⁰ за одабир репрезентативних типова породичних кућа у Србији.

Завод за урбанизам у Сомбору располаже генералним урбанистичким плановима из различитих временских периода (ЗУС, 2007, 1984, 1995, 1968, 1968а) који су доступни истраживачима. Урбанистички планови описују плански и неплански развој стамбеног ткива и наводе граничне вредности архитектонско-урбанистичких параметара, преко којих се прате ефекти регулативе на стамбену

³⁰ Националне типологије стамбених зграда у 16 земаља Европе и у Србији, формиране су применом метода коришћеног у пројекту Табула (Intelligent Energy Europe [IEE], 2012-2014). Пројекат је утврдио заједничке принципе за стварање националних типологија зграда, поштујући локалне карактеристике архитектонског и урбанистичког развоја. У Србији је истраживање обухватало неколико активности. Ограниченим пописом на одговарајућем статистичком узорку зграда, у обилку двостепеног пописа примењеног по дубини, сакупљене су информације о више од 6000 породичних кућа у 25 административних округа у Србији (Јовановић Поповић et al., 2012).

- Локална типологија за град Сомбор развијена је уз подршку Ипсоса (енг. Ipsos Strategic Marketing) и на посебним подацима из Пописа становништва 2011 по општинама, о броју и површини станова, броју спратова, актуелним статистичким подацима о броју изграђених зграда и станова у општинама у периоду од 1994 до 2008. (Јовановић Поповић, Slavković, 2014).

изградњу³¹. Завод такође располаже детаљним плановима из 1962. године до данас као и ортофото снимцима града из 2008. године.

Историјски архив у Сомбору располаже картографском документацијом из различитих временских периода која указује на генезу и трансформацију изграђене структуре града. Документација обухвата ведућу из 1698, бројне мапе града из различитих временских периода од којих су најзначајније мапе из 1825, 1837 и 1878 (IAS). Картографску документацију Сомбора из 1825, 1837, 1878, 1908. и 1932. године објављује Покрајински завод за заштиту споменика културе са Петроварадина у студији заштите културно-историјске средине Сомбор која обухвата обиље документације и архивских фотографија (Крњић et al., 2007).

Методологија формирања типологије породичних кућа на подручју града Сомбора (Јовановић Поповић, Slavković, 2012) и *Типологија породичних стамбених кућа града Сомбора. Класификација на основу општих и специфичних критеријума* (Јовановић Поповић, Slavković, 2014) обухватају анализу и систематизацију релевантних података из претходно наведених извора. Прва студија обухвата објашњења друштвено-историјског развоја и морфолошких трансформација изграђене структуре града, систематизацију урбанистичке регулативе и регулативе о топлотној заштити зграда, и анализу правила изградње која се тичу геометрије кућа и парцела. Утврђене специфичности стамбене изградње су утицале на формирање методологије и типологије породичних кућа у Сомбору (Јовановић Поповић, Slavković, 2012). Друга студија наводи типологију једнопородичних стамбених кућа у Сомбору која је резултат прикупљања, класификације и анализе података о породичним кућама. Енергетска својства кућа су утврђена на основу детаљних података о периодима изградње, геометрији и топлотним карактеристикама омотача кућа (Јовановић Поповић, Slavković, 2014).

³¹ Параметри се односе на граничне вредности величине парцеле, процента заузетости и индекса изграђености, положаја, висине и спратности стамбене зграде, односа стамбене зграде са суседном зградом Неки од параметара су наведени за различите типове објеката: пољопривредно и непољопривредно домаћинство; слободностојећи, двојни, објекат у низу, пољопривредно домаћинство и др.

Карактеристике типичних породичних кућа у Сомбору и Србији

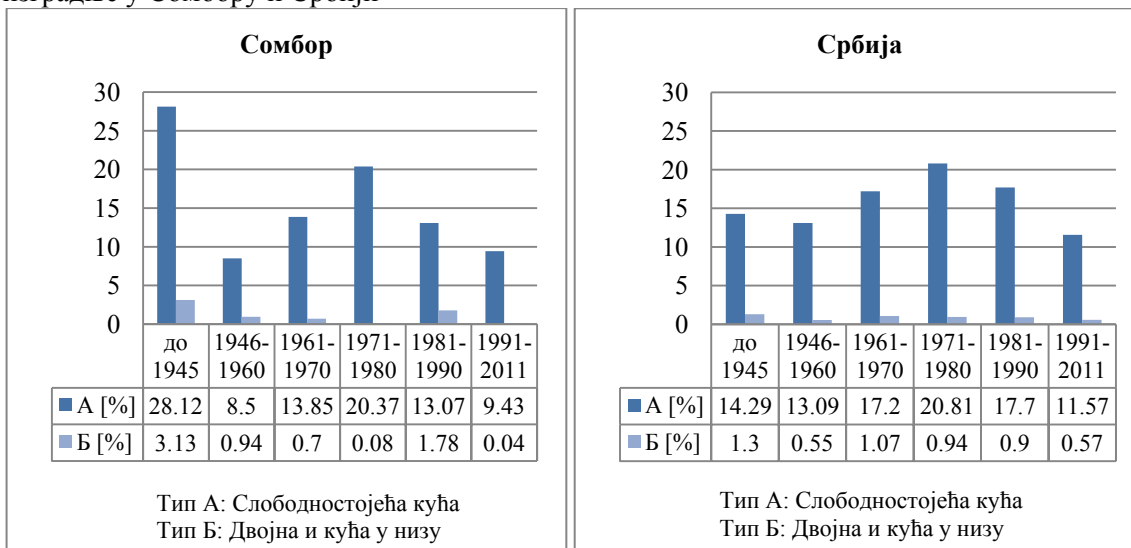
Доминантан тип кућа у Сомбору је слободностојећа кућа, а половина постојећих породичних кућа је изграђена у временском периоду од 1961. до 1990. године. Поређење броја изграђених слободностојећих, двојних и кућа у низу у Сомбору и Србији, показује да слободностојећем типу куће припада 93% од укупног броја породичних кућа у Сомбору, односно 95% у Србији. Поређење броја изграђених кућа према старости показује да је у временском периоду од 1961. до 1990. године изграђено 50% од укупног броја постојећих породичних кућа у Сомбору, односно 59% у Србији. Подаци о броју, типу и временском периоду изградње породичних кућа у Сомбору и Србији су приказани у табели 6 и дијаграмима 9 и 10. За детаљнију анализу података погледати (Јовановић Поповић, Slavković, 2014).

Табела 6. Број изграђених породичних кућа у Сомбору и Србији према односу са суседном зградом и временском периоду изградње

Географско одређење	Сомбор			Србија		
	Слободно-стојећа кућа	Двојна и кућа у низу	Укупно	Слободно-стојећа кућа	Двојна и кућа у низу	Укупно
о 1945	8.286	921	9.207	312.531	28.331	340.862
1946 - 1960	2.504	278	2.782	286.259	12.034	298.293
1961 - 1970	4.080	205	4.285	376.057	23.328	399.385
1971 - 1980	6.002	24	6.026	454.893	20.636	475.529
1981 - 1990	3.851	525	4.376	386.958	19.768	406.726
1991 - 2011	2.780	11	2.791	252.884	12.567	265.451
До 2011	27.503	1.964	29.467	2.069.582	116.664	2.186.246

Извор: Јовановић Поповић, Slavković, 2014

Дијаграми 9. и 10. Процентуална заступљеност типова кућа према временском периоду изградње у Сомбору и Србији



Извор: Jovanović Popović, Slavković, 2014

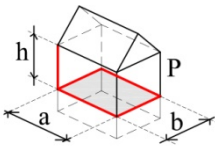
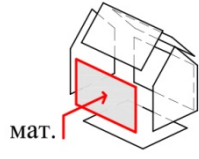

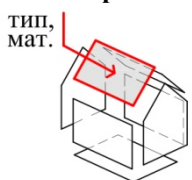

Енергетска својства типичне породичне куће у Сомбору су утврђена на основу анализе три групе података (Jovanović Popović, Slavković, 2014):

- геометријских карактеристика,
- својстава топлотног омотача и
- грејаног простора и система грејања.

Најзаступљенији типови анализираних узорка породичних кућа³² су приказани у табели 7.

³² Подаци се односе на испитивање статистичког узорка од 188 породичних кућа у Западној Бачкој и 360 породичних кућа у Војводини. Подаци се сматрају одговарајућим за утврђивање карактеристика типичне породичне куће у Сомбору, са енергетског аспекта. За више информација о комплексности података и примењеној методологији погледати изворе: Jovanović Popović, Slavković, 2014, 2012.

Табела 7. Енергетска својства типичне породичне куће у Сомбору

Категорија	Критеријум	Најзаступљенији тип	Удео у испитаном стамбеном фонду [%]
Геометријске карактеристике 	Облик основе	Компактан ($a : b = 1 : 1$ до $1 : 2$)	72
	Површина стамбеног простора	$\geq 100 \text{ m}^2$	44
	Број спратова	1 спрат	86
	Висина стамбеног простора	2,61-2,8 m	29
Спољашњи зид 	Материјализација	Цигла/опека	60
	Дебљина	> 40 cm	34
	Материјал топлотне изолације ^{a)}	Полистирен	86
	Дебљина топлотне изолације ^{a)}	5 cm	58
Прозори 	Материјал оквира	Дрво	96
	Старост	31-40 год.	24
	Тип прозора	Двоструки са обичним стаклом	67
	Тип ролетни/застора	Спољашњи (дрвени, PVC, алуминијумски) шалони	76
Кров 	Материјализација	Цреп	98
	Дебљина топлотне изолације ^{b)}	$\leq 5 \text{ cm}$	33
Грејање 	Начин коришћења таванског простора	Простор испод косог крова се не користи за становање	90
	Начин коришћења подрумског простора	Без подрума или сутерена	71
	Систем грејања	Самостално, свака просторија се посебно загрева	75
	Гориво за сопствени систем-котларницу ^{u)}	Дрва	38

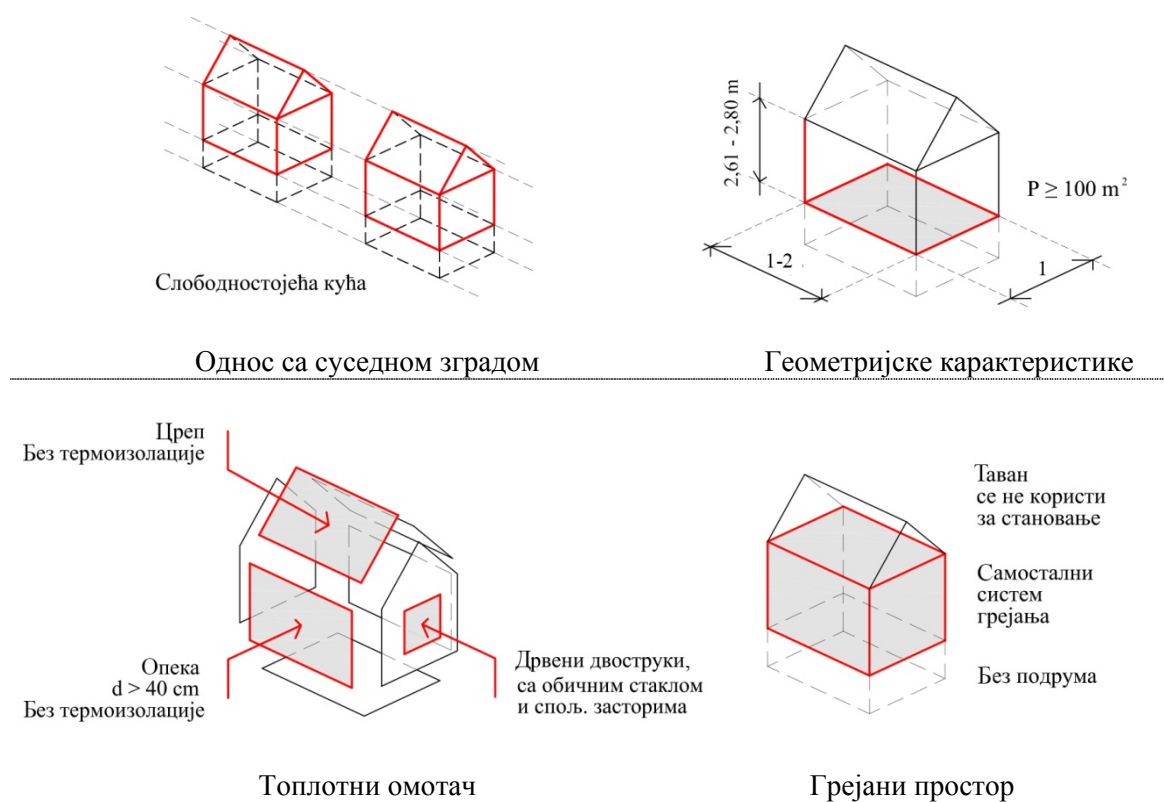
^{a)} 16% зграда има термоизолацију у спољном зиду: 199 зграда у Србији, 53 зграде у Војводини.

^{b)} 11% зграда има термоизолацију у крову: 138 зграда у Србији, 34 зграде у Војводини.

^{u)} 16% зграда има сопствени систем грејања: 194 зграде у Србији, 52 зграде у Војводини.

На основу извора: Jovanović Popović, Slavković, 2014

Типична породична кућа у Сомбору има компактну основу односа страна $a:b = 1:1$ до $1:2$, површину преко 100 m^2 , један спрат и висину стамбеног простора од $2,61$ до $2,80 \text{ m}$. Спољашњи зид је од опеке, дебљине веће од 40 cm , прозори су дрвени, двоструки са обичним стаклима и спољашњим засторима, а кров је покривен црепом. Типична породична кућа нема термички изоловани спољашњи зид нити кров. Простор испод косог крова се не користи за становање, а подрум или сутерен не постоје. Самосталан систем грејања у кући посебно загрева сваку просторију. Шема типичне породичне куће је приказана на слици 1.



Слика 1. Шема типичне породичне куће у Сомбору

Примери слободностојећих породичних кућа у Сомбору су приказани у табели 8. Одабир кућа је извршен на основу временског периода изградње куће и односа са суседном зградом, а табела приказује фотографије, основе приземља, геометријске карактеристике, својства топлотног омотача, грејаног простора и система за грејање кућа.

Табела 8. Преглед примера слободностојећих породичних кућа у Сомбору

Тип	Тип 1	Тип 2	Тип 3
Период	до 1945	1946 - 1960	1961-1970
Фотографија			
Основа приземља			
Облик основе	Издужен, $a : b > 1 : 2$	Компактан, $a : b = 1 : 1$ до $1 : 2$	Компактан, $a : b = 1 : 1$ до $1 : 2$
Површина	$P \geq 100 \text{ m}^2$	$P = 60 - 74 \text{ m}^2$	$P = 75 - 99 \text{ m}^2$
Број спратова	1 спрат	1 спрат	1 спрат
Висина простора	$h < 2,40 \text{ m}$	$h = 2,40 \text{ m}$	$h = 2,60 \text{ m}$
Материјал зида	Ћерпич	Опека	Опека
Дебљина зида	$d > 40 \text{ cm}$	$d = 31 - 40 \text{ cm}$	$d = 31 - 40 \text{ cm}$
Материјал термоизолације	-	-	-
Дебљина термоизолације	-	-	-
Материјал оквира	Дрво	Дрво	Дрво
Тип прозора	Двоструки са обичним стаклом	Двоструки са обичним стаклом	Двоструки са обичним стаклом
Тип ролетни/застора	Унутрашње, платнене	Спољашње, пвц	Спољашње, пвц
Материјал крова	Цреп	Цреп	Цреп
Дебљина термоизолације	-	-	-
Тавански простор	Не користи се за становање	Не користи се за становање	Не користи се за становање
Подрумски простор	Без подрума	Не користи се за становање	Не користи се за становање
Систем грејања	Самостално, прост. се посебно греју	Самостално, прост. се посебно греју	Даљински систем
Гориво	Угаљ	Дрво	Гас

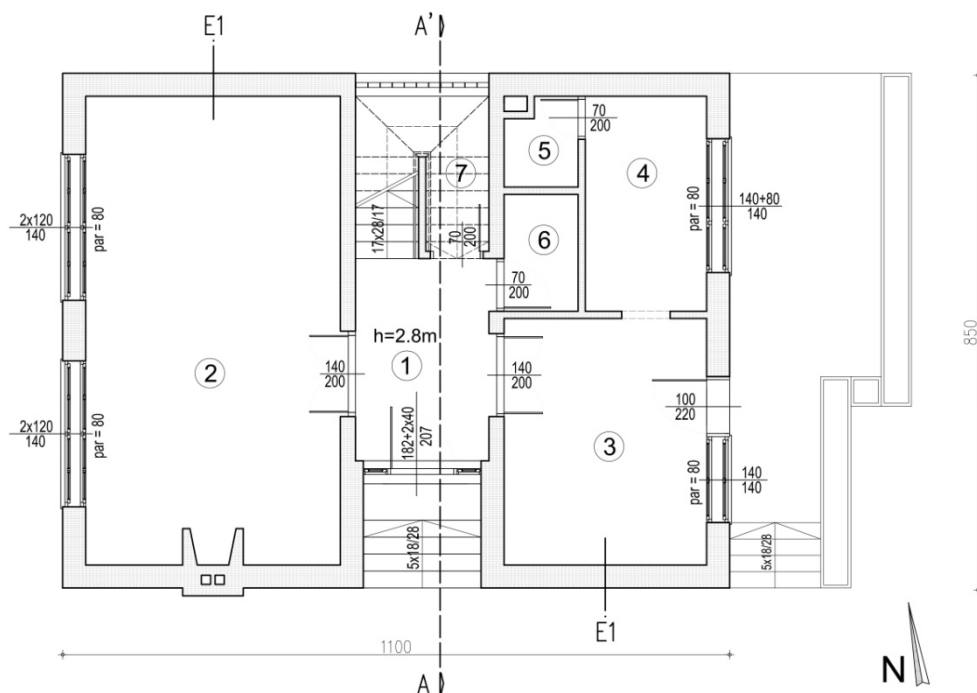
Тип	Тип 4	Тип 5	Тип 6
Период	до 1971-1980	1981-1990	1990-2011
Фотографија			
Основа приземља			
Облик основе	Компактан, $a : b = 1 : 1$ до $1 : 2$	Компактан, $a : b = 1 : 1$ до $1 : 2$	Разуђен
Површина	$P \geq 100 \text{ m}^2$	$P \geq 100 \text{ m}^2$	$P \geq 100 \text{ m}^2$
Број спратова	2 спрата	2 спрата	2 спрата
Висина простора	$h = 2,61 - 2,80 \text{ m}$	$h = 2,61 - 2,80 \text{ m}$	$h = 2,6 \text{ m}$
Материјал зида	Опекарски (гитер) блок	Опека	Опекарски (гитер) блок
Дебљина зида	$d > 40 \text{ cm}$	$d > 40 \text{ cm}$	$d > 40 \text{ cm}$
Материјал термоизолације	Трска	-	Полистирен
Дебљина термоизолације	$d < 5 \text{ cm}$	-	$d = 5 \text{ cm}$
Материјал оквира	Дрво	Дрво	Пвц
Тип прозора	Двоструки са обичним стаклом	Двоструки са обичним стаклом	Једноструки са термоиз. стаклом
Тип ролетни/застора	Спољашње, пвц	Спољашње, дрвене	Спољашње, дрвене
Материјал крова	Цреп	Цреп	Цреп
Дебљина термоизолације	-	$d = 5 \text{ cm}$	$d = 5 \text{ cm}$
Тавански простор	Не користи се за становање	Не користи се за становање	Не користи се за становање
Подрумски простор	Не користи се за становање	Без подрума	Не користи се за становање
Систем грејања	Даљински систем	Даљински систем	Сопствени систем
Гориво	Гас	Гас	Дрво

Примери су изабрани на основу података Јovanović Popović, Slavković 2014, 2012

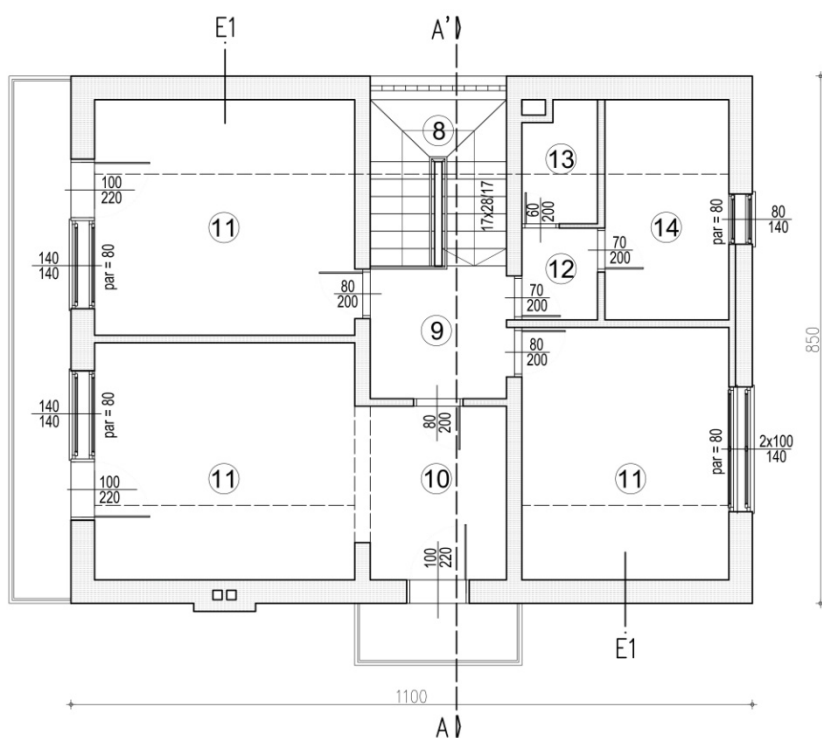
5.1.2. Референтна породична кућа у Сомбору

Референтна породична кућа на коју се примењују одабрани нивои унапређења енергетских својстава и модел за процену уграђене и оперативне енергије у животном циклусу је одабрана према карактеристикама типичне породичне куће у Сомбору. Референтна кућа је одабрана на основу података о временском периоду изградње и односу са суседном зградом, геометријским карактеристикама, својствима тоplotног омотача и грејаног простора типичне породичне куће. Основе приземља и спрата референтне куће су приказане на сликама 2 и 3, попречни пресек кроз кућу је приказан на слици 4, а фотографија на слици 5. Материјализација тоplotног омотача са коефицијентима пролаза топлоте је приказана у табели 9.

Референтна кућа је слободностојећег типа, изграђена 1982. године. Породична кућа има компактну основу односа страна $a : b = 1 : 1,4$. Нето површина стамбеног грејаног простора износи $140,33 \text{ m}^2$. Спратност породичне куће је П + Пк са чистом спратном висином од 2,80 m. Спољашњи зид је од опеке, дебљине $d = 42 \text{ cm}$ и није термички изолован. Прозори су дрвени, двоструки са обичним стаклом и спољашњим дрвеним шалонима. Прозори и шалони нису мењани од времена изградње куће. Топлотна изолација од минералне вуне је присутна само у таваници и крову и има дебљину $d = 5 \text{ cm}$. Тавански простор испод косог крова се не користи за становање, а подрумски простор не постоји. Грејани простор обухвата све просторије на приземљу и првом спрату, а тавански простор се не греје. Систем грејања је самосталан, са јединственим системом за целу кућу. Пројектом је предвиђен систем са појединачним грејањем просторија, а непосредно након изградње је уведен сопствени систем грејања са котларницом у којој се првих двадесет година употребљавала дрвена биомаса. Након уградње прикључка на градску гасоводну мрежу, систем за грејање куће прелази на гас.



Слика 2. Основа приземља референтне породичне куће у Сомбору



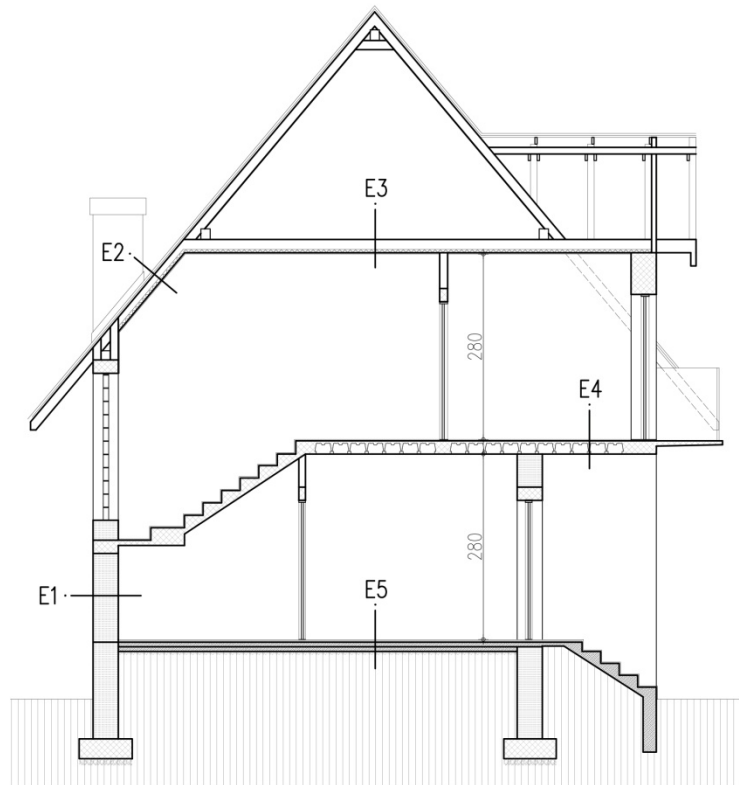
Приземље:

- 1 Ходник
- 2 Дневна соба
- 3 Трпезарија
- 4 Кухиња
- 5 Помоћна просторија
- 6 Тоалет
- 7 Остава

Први спрат:

- 8 Степениште
- 9 Ходник
- 10 Радна соба
- 11 Спаваћа соба
- 12 Предпростор
- 13 Купатило
- 14 Вешерница

Слика 3. Основа првог спрата референтне породичне куће у Сомбору

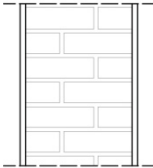
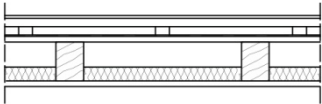
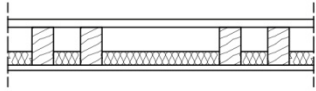
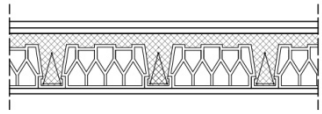
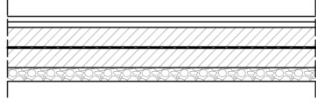


Слика 4. Пресек AA' референтне породичне куће у Сомбору



Слика 5. Фотографија референтне породичне куће у Сомбору

Табела 9. Материјализација и коефицијент пролаза топлоте нетранспарентних елемената топлотног омотача породичне куће

Ознака елемента ^{а)}	Елемент топлотног омотача	Графички приказ	Материјализација d [cm]	Коефицијент пролаза топлоте U [W/(m ² ·K)]
E1	Спољашњи зид		Малтер 2,0 Опека 38,0 Малтер 2,0	0,98
E2	Коси кров изнад грејаног простора		Цреп 2,0 Летве 5,0/3,0 Летве 5,0/3,0 Хидроизолација Дрвена подлога 2,0 Ваздушни простор 9,0 Термоизолација 5,0 (Греде 10/14) Ламперија 1,0	0,62
E3	Међуспратна конструкција изнад грејаног простора		Даске 2,0 Ваздушни простор 9,0 Термоизолација 5,0 (Греде 8/14) Ламперија 1,0	0,58
E4	Међуспратна конструкција изнад отвореног пролаза		Ламинат 0,8 Цем. кошуљица 2,0 ЛМТ таваница 20,0 Малтер 2,0	1,95
E5	Под на тлу		Ламинат 0,8 Цем. кошуљица 2,0 Бетон 7,0 Битумен 1,0 Бетон 7,0 Шљунак 5,0	1,87

^{а)} Елементи су означени на основама приземља и спрата, и на пресеку AA' референтне породичне куће на сликама 2, 3 и 4.

5.1.3. Оперативна енергија куће пре унапређења енергетских својстава

Годишња потрошња финалне и примарне енергије у референтној кући пре примене мера унапређења енергетских својстава је утврђена:

- увидом у месечне рачуне Електропривреде Србије о испорученој електричној енергији у домаћинство и интервјуисањем представника домаћинства о учесталости употребе и карактеристикама уређаја који се користе у домаћинству и
- симулацијом потрошње енергије у породичној кући применом компјутерског програма РНРР.

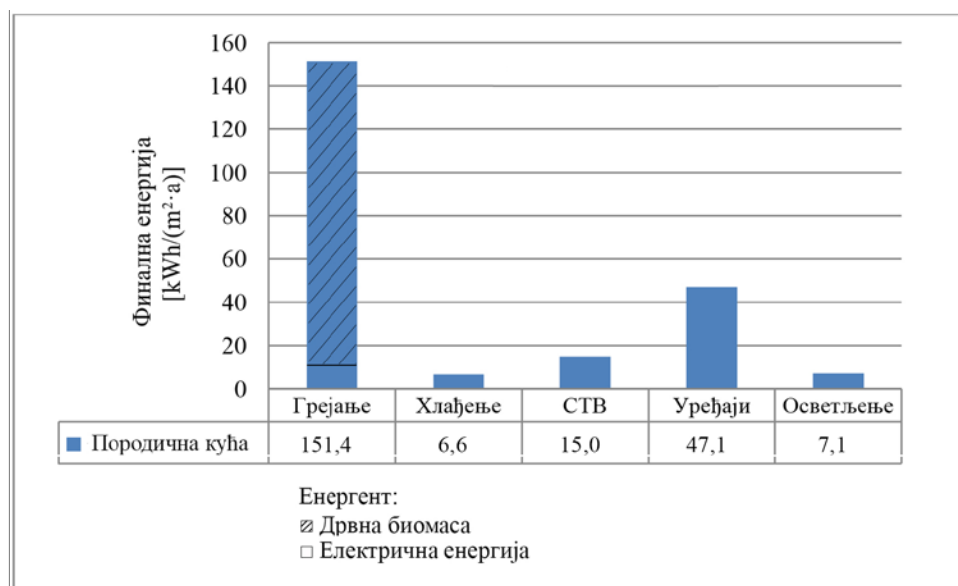
Резултати увида у месечне рачуне и интервјуисања станара

Вредности потрошње електричне енергије очитане са дванаест узастопних месечних рачуна обухватају потрошњу енергије у целом домаћинству, односно, у породичној кући и помоћним објектима на парцели. Годишња финална електрична енергија домаћинства износи 13.790,0 kWh/a. Иако вредност није диференцирана на потрошњу у појединачним објектима у домаћинству и на видове потрошње енергије, она ипак представља релевантан показатељ потрошње по јединици површине референтне куће, који износи 98,3 kWh/(m²·a). Очитане вредности електричне енергије по месечним извештајима су приказане у прилогу Г, табели 35.

Интервјуисањем представника домаћинства су сумирани подаци за прорачун различитих видова потрошње енергије у породичној кући и помоћним објектима на парцели. Сакупљени су подаци о количини потрошених енергената за грејање породичне куће током једне грејне сезоне (прилог Г, табела 36) и подаци о врсти, учесталости коришћења и снази електричних уређаја коришћених у породичној кући (прилог Г, табела 37) и у помоћним објектима на парцели (прилог Г, табела 38).

Првих двадесет година, породична кућа се током зимског периода примарно грејала употребом дрвне биомасе, а секундарно догревала употребном електричне енергије. Грејањем свих просторија на приземљу и спрату референтне куће током једне сезоне се троши 10 m^3 букве. Топлота која се добије сагоревањем 10 m^3 буковине износи $18.912,5 \text{ kWh/a}$, што по јединици стамбене површине референтне куће износи $134,8 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Прорачун вредности финалне енергије је извршен применом података из приручника Европске асоцијације за биомасу (Francescato, Antonini, Bergomi, 2009), а приказан је у прилогу Г, табела 36.

Интервјуисањем станара су сакупљени подаци на основу којих су израчунате вредности укупне потрошње и различитих видова потрошње годишње финалне електричне енергије у референтној породичној кући. Укупна потрошња годишње финалне електричне енергије у породичној кући износи $12.952,7 \text{ kWh/a}$, односно, по јединици стамбене површине износи $92,3 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Вредности различитих видова потрошње годишње финалне електричне енергије и топлоте по јединици стамбене површине утврђене интервјуисањем станара и увидом у рачуне су приказане у дијаграму 11.



Дијаграм 11. Видови потрошње годишње финалне енергије по јединици стамбене површине у референтној породичној кући пре унапређења енергетских својстава, утврђене на основу интервјуисања станара и пописа уређаја

Укупне вредности и вредности видова потрошње годишње финалне и примарне енергије у референтној кући пре унапређења енергетских својстава, утврђене на основу интервјуисања станара и пописа уређаја у домаћинству, сумиране су у прилогу Г, табели 39.

Резултати компјутерске симулације енергије у породичној кући

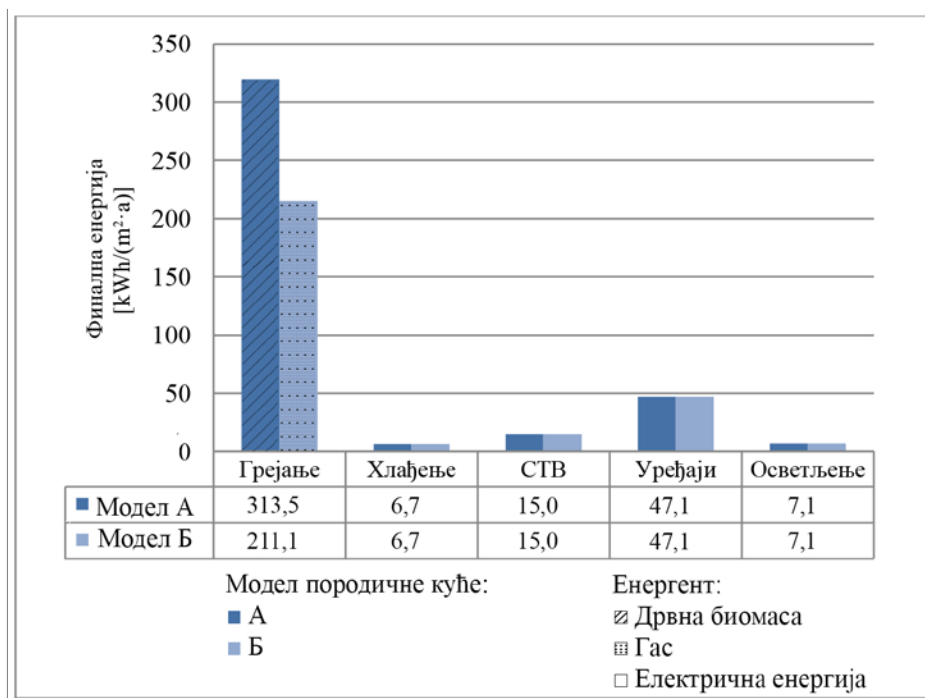
Компјутерском симулацијом су утврђене годишње вредности финалне енергије за две варијанте постојеће породичне куће, које се међусобно разликују само по систему за грејање:

- систем грејања на дрвну биомасу и
- систем грејања на гас.

У компјутерски програм за симулацију потрошње енергије у кући су унети подаци о врсти, карактеристикама и учесталости употребе електричних уређаја утврђених интервјуисањем станара и пописом уређаја. У програм су такође унети подаци о климатским условима средине, геометријским карактеристикама породичне куће и изграђених објеката у околини и о осталим својствима зграде, описаним у одељку 4.2.2 *Компјутерска симулација оперативне енергије*. Помоћни објекти на парцели нису обухваћени симулацијом.

Резултати компјутерске симулације финалне енергије по јединици стамбене површине породичне куће пре унапређења енергетских својстава, показују вредности од 389,4 kWh/(m²·a) за породичну кућу која се греје на дрвну биомасу и 287,0 kWh/(m²·a) за породичну кућу која се греје на гас. Годишња финална енергија по јединици стамбене површине за грејање износи 313,5 kWh/(m²·a) у кући са системом за грејање на дрвну биомасу, односно 211,1 kWh/(m²·a) са системом за грејање на гас. Вредност финалне енергије за хлађење куће износи 6,7 kWh/(m²·a), а вредности за припрему СТВ, употребу електричних уређаја и осветљење су једнаке вредностима утврђеним интервјуисањем и пописом уређаја. Вредности различитих видова потрошње годишње финалне

електричне енергије и топлоте по јединици стамбене површине утврђене компјутерском симулацијом су приказане у дијаграму 12.



Дијаграм 12. Видови потрошње годишње финалне енергије по јединици стамбене површине у две варијанте референтне породичне куће пре унапређења енергетских својстава, у којима се за грејање користе дрвна биомаса и гас, утврђени на основу компјутерске симулације

Укупне вредности и вредности видова потрошње годишње финалне и примарне енергије у референтној породичној кући пре унапређења енергетских својстава, утврђене на основу компјутерске симулације, сумиране су у прилогу Г, табелама 40 и 41.

Разлике између вредности годишње финалне енергије утврђених интервјуисањем и пописом, и вредности утврђених компјутерском симулацијом, су у енергији за климатизацију куће. Стварна вредност потрошње финалне енергије утврђена интервјуисањем и пописом, одговара испуњавању субјективних потреба станара, односно, њиховом начину коришћења породичне куће и помоћних објеката на парцели. Субјективне потребе станара произилазе, између осталог, из индивидуалног осећаја топлотног комфора и утичу на употребу оних електричних уређаја који одговарају личном избору и испуњавању уобичајених навика. Вредност потрошње финалне енергије у хипотетичком моделу породичне

куће, утврђена компјутерском симулацијом, одговара оном начину коришћења стамбеног простора који испуњава минималне услове топлотног комфора прописане регулативом, а без промена о врсти, снази и учесталости коришћења електричних уређаја за домаћинство. Дакле, разлика у резултатима финалне енергије за климатизацију се образлаже чињеницом да се досадашњим начином грејања и хлађења куће нису испуњавали минимални услови топлотног комфора прописани националном регулативом у свим деловима куће и током целокупног периода грејања и хлађења.

Модел референтне куће за утврђивање уштеда у оперативној енергији

Компјутерски модел куће који за грејање користи гас, а за остале енергетске потребе електричну енергију, усваја се као модел референтне куће постојећих (непромењених) енергетских својстава. Вредности финалне енергије приказане у дијаграму 12 (модел Б) се усвајају као референтне вредности различитих видова потрошње енергије у постојећој кући. Уштеде у оперативној енергији се утврђују мењањем енергетских својстава усвојеног модела референтне куће, који пре и након унапређења испуњава истоветне услове топлотног комфора, дефинисане националном регулативом, на целој површини куће и током целокупног периода грејања и расхлађивања.

5.2. Нивои унапређења енергетских својстава куће

Циљ унапређења енергетских својстава породичне куће је постизање уштеда у потрошњи оперативне енергије, без мењања свакодневних навика станара везаних за уобичајени начин коришћења уређаја за домаћинство. Један ниво унапређења се састоји од сета мера унапређења енергетских својстава куће, које могу да буду:

- пасивне мере унапређења својстава топлотног омотача са циљем оптимизације топлотних губитака и добитака и
- активне мере унапређења применом техничких система са циљем смањења топлотних губитака и производње енергије из обновљивих извора.

Нивои унапређења су формирану у два корака:

- у првом кораку се нивои унапређења формирају комбиновањем итерација пасивних мера,
- у другом кораку се нивои унапређења формирају применом итерација активних мера на нивое дефинисане у првом кораку.

Симулација потрошње оперативне енергије у програму РНРР је извршена за све варијанте референтне куће на коју су примењени нивои унапређења. Компарацијом резултата се испитује испуњеност одабраних услова о енергетској ефикасности, на основу којих се бирају три карактеристична нивоа унапређења референтне куће.

Први ниво унапређења енергетских својстава референтне породичне куће је одабран на основу испуњености одабраних граничних услова енергетске ефикасности утврђених националном регулативом. *Правилник о енергетској ефикасности зграда у РС* додељује сваком елементу топлотног омотача постојеће куће граничну вредност енергетских својстава које породична кућа треба да испуни након поступка унапређења (МГСИ, 2011). Највеће дозвољене вредности коефицијента пролаза топлоте за елементе топлотног омотача постојеће куће су приказане у прилогу А, табели 30. *Правилник о условима, садржини и начину издавања сертификата о енергетским својствима зграда у РС* прописује да постојећа породична кућа унапређењем енергетских својстава мора да оствари побољшање за минимум један енергетски разред који се изражава преко годишње потрошње финалне енергије за грејање (МГСИ, 2012). Граничне вредности годишње потрошње финалне енергије и максималне дозвољене потребне топлоте за грејање постојеће куће са једним станом, за енергетске разреде од А+ до Г, сумиране су у прилогу А, табели 32.

Други ниво унапређења енергетских својстава референтне породичне куће је дефинисан на основу испуњења одабраних граничних услова енергетске ефикасности утврђених стандардима зграда ниске потрошње енергије, чија се примена у пракси спроводи на добровољној основи. Стандардом пасивне куће су постављени критеријуми за додељивање сертификата *EnerPHit* постојећој згради (PI, 2013). Институт пасивна кућа наводи граничне вредности потребне енергије за грејање од 25 kWh/(m²·a), граничне вредности карактеристика неких компоненти постојеће куће наведене у прилогу Б, табели 33, и граничне вредности укупне примарне енергије постојеће куће, која се рачуна по једначини:

$$Q_P \leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) + (Q_H - 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})) \cdot 1,2 \quad (5.1.)$$

где су Q_P максимална дозвољена примарна енергија и Q_H потребна енергија за грејање зграде. Напомиње се да се наведени услови енергетске ефикасности односе на пасивну кућу дефинисану у Институту пасивна кућа, а не на пасивну кућу дефинисану *Правилником о енергетској ефикасности зграда у РС*.

Трећи ниво унапређења енергетских својстава референтне породичне куће је дефинисан на основу испуњења одабраних граничних услова енергетске ефикасности утврђених на основу *ревидиране EPBD Директиве* (EPCEU, 2010). Зграде близу нулте енергије су дефинисане појединачно у земљама чланицама Европске Уније. NZEB дефиниције стамбених зграда су сумиране у одељку 2.3.1, табели 1 и односе се искључиво на нове зграде. Пошто NZEB дефиниције за постојеће зграде још нису утврђене, ове дефиниције се усвајају као релевантне за дефинисање трећег нивоа унапређења референтне породичне куће.

Због неусклађености NZEB дефиниција за стамбене зграде (погледати одељак 2.3.1), усваја се поставка да је трећи ниво унапређења енергетских својстава референтне породичне куће дефинисан на основу испуњења граничних услова за утврђен *тип* стамбене зграде. NZEB дефиниције у Словачкој, Естонији и Бриселу се редом односе на следеће типове стамбених зграда: породична кућа, слободностојећа кућа и индивидуални стан. Словачка наводи граничну вредност годишње примарне енергије за грејање и припрему СТВ у породичним кућама од 54 kWh/(m²·a), не наводећи да ли енергетски биланс зграде обухвата енергију

произведену из ОИ, чија обавезна заступљеност износи 50%. Естонија наводи максималну дозвољену примарну енергију за све енергетске потребе слободностојеће куће од 50 kWh/(m²·a) истичући да енергетски биланс зграде обухвата енергију из ОИ чија обавезна вредност процентуалне заступљености није наведена. Белгија, за територију Брисела, наводи максималну дозвољену граничну вредност примарне енергије за потребе грејања, припреме СТВ и електричних уређаја у индивидуалним становима од 45 kWh/(m²·a), наводећи да енергетски биланс обухвата енергију из ОИ, али не наводећи њену заступљеност.

5.3. Мере унапређења енергетских својстава куће

На основу грађевинских мера унапређења енергетске ефикасности стамбеног сектора у Србији (МРЕ, 2013), прописаних енергетских својстава постојећих зграда у Србији (МГСИ, 2012, 2011), карактеристика зграда ниске потрошње енергије (Kurnitski et al., 2014, PI, 2013) и научних истраживања објављених у чланцима часописа од међународног значаја³³, а са циљем давања доприноса остваривању пројекција потрошње финалне енергије у сектору домаћинства у Србији (МРЕ, 2015), одабране су следеће мере унапређења енергетских својстава постојећих породичних кућа:

Пасивне мере унапређења својстава тоplotног омотача са циљем оптимизације тоplotних губитака и добитака:

- изолација нетранспарентних елемената тоplotног омотача,
- замена и засенчење транспарентних елемената тоplotног омотача и
- промена односа у површинама транспарентних и нетранспарентних елемената на јужно оријентисаној фасади породичне куће.

³³ Бројна истраживања разматрају пасивне и активне мере за постизање енергетски ефикасних зграда, а своје закључке излажу у часописима од међународног значаја. Пасивне мере су на свеобухватан начин приказане у прегледним чланцима (Stevanović, 2013; Pacheco, Ordóñez, Martínez, 2012; Xing, Hewitt, Griffiths, 2011; Sadineni, Madala, Boehm, 2011; Chan, Riffat, Zhu, 2010), а одабране активне мере у чланцима (Krstic Furundzic, Kosoric, Golic, 2012; Krstic Furundzic, Kosoric, 2009, 2009a; Kosoric, 2007).

Активне мере унапређења применом техничких система са циљем смањења топлотних губитака и производње енергије из обновљивих извора су:

- примена механичког система за вентилацију и
- примена активних соларних система.

Мере унапређења референтне куће изолација нетранспарентних елемената топлотног омотача, замена и засенчење транспарентних елемената топлотног омотача и примена активних соларних система, имају одговарајуће итерације. Једна мера унапређења има више могућих варијанти. Нпр. итерације мере унапређења изолација нетранспарентних елемената топлотног омотача, одређене су на основу вредности коефицијената пролаза топлоте U различитих елемената омотача: прва итерација мере унапређења је дефинисана на основу минималних захтева националне регулативе; свака наредна итерација подразумева поштравање претходне U вредности; а последња највиша итерација мере унапређења је дефинисана на основу минималних захтева стандарда без обавезе примене - пасивна кућа. Мере унапређења референтне куће промена односа у површинама транспарентних и нетранспарентних елемената на јужно оријентисаној фасади и примена механичког система за вентилацију, имају само једну итерацију. Нпр. карактеристике механичког система за вентилацију су утврђене минималним захтевима стандарда без обавезе примене - пасивна кућа.

Сваки ниво унапређења енергетских својстава породичне куће има своју идентификациону ознаку. Ознака нивоа унапређења се формира спајањем ознака мера унапређења и њихових итерација. Нпр. мере унапређења нетранспарентних и транспарентних елемената топлотног омотача имају редом ознаке n и t , итерације мера унапређења су означене бројевима који стоје уз словну ознаку примењене мере. Идентификациона ознака нивоа унапређења $n_1 t_2 2:1$ сумира итерације мера унапређења, где су: n_1 прва итерација унапређења нетранспарентних елемената топлотног омотача, t_2 друга итерација унапређења транспарентних елемената топлотног омотача, и $2:1$ повећање удела транспарентних елемената на јужно оријентисаној фасади породичне куће и постигнут однос транспарентних и нетранспарентних површина 2:1. Ознаке мера и итерација су приказане у табелама 11 до 15 и слици 6.

5.3.1. Пасивне мере унапређења енергетских својстава куће

Пасивне мере унапређења енергетских својстава куће се односе на мере унапређења својстава топлотног омотача са циљем оптимизације топлотних губитака и добитака. Њихове итерације се формирају на следећи начин. Прва итерација мера унапређења омотача грејаног дела породичне куће са циљем смањења топлотних губитака је одређена минималним захтевима националне регулативе. Нпр. највећа дозвољена вредност коефицијента пролаза топлоте за спољашњи зид постојеће куће износи $U_{\max} = 0,40 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. Све наредне итерације мере унапређења подразумевају оштрије вредности топлотних својстава спољашњег зида. Итерација највишег степена унапређења се утврђује на основу препоруке стандарда пасивне куће, који наводи да максимална дозвољена U вредност елемената омотача са спољашњом изолацијом, који је у контакту са спољашњим ваздухом, износи $U_{\max} \leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$. За унапређење енергетских својстава спољашњег зида референтне куће, вредности коефицијента пролаза топлоте износе $U_1 = 0,40 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $U_2 = 0,30 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$, $U_3 = 0,20 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$ и $U_4 = 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$; као што је приказано у табели 11. На исти начин су дефинисане и итерације за унапређења енергетских својстава осталих елемената топлотног омотача зграде. Груписање итерација мера унапређења појединачних елемената топлотног омотача куће (прва итерација мере унапређења спољашњег зида, прва итерација мере унапређења косог крова, прва итерација мере унапређења међуспратне конструкције, итд.), резултира једном итерацијом мера унапређења топлотног омотача куће. Свака наредна итерација мера унапређења топлотног омотача подразумева виши степен унапређења енергетских својстава породичне куће.

5.3.1.1. Унапређење нетранспарентних елемената топлотног омотача

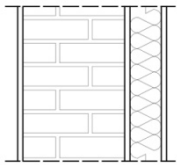
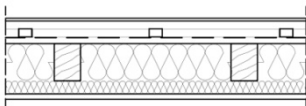
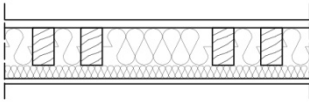
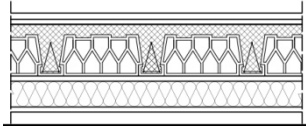
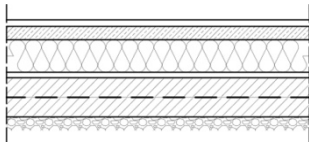
Унапређење нетранспарентних елемената топлотног омотача обухвата постављање топлотне изолације ради побољшања топлотних особности спољашњег зида, међуспратне конструкције испод негрејаног таванског простора, косог крова изнад грејаног простора, међуспратне конструкције изнад отвореног пролаза, пода на тлу и замену постојећих спољашњих врата.

Минерална вуна и полистирен су усвојени материјали за топлотну изолацију нетранспарентних елемената топлотног омотача куће. Материјали су усвојени због доступности на локалном тржишту и честој примени у локалној грађевинској пракси. Положај топлотне изолације при накнадном решавању проблема везаних за термичку заштиту зграда је на спољашњој страни елемента омотача, где конструктивни склоп то омогућава. Дебљина слоја топлотне изолације се одређује према максималним дозвољеним вредностима коефицијента пролаза топлоте U нетранспарентних елемената топлотног омотача и топлотних својстава примењеног изолационог материјала утврђених националном регулативом; поштреним вредностима коефицијента U ; и максималним дозвољеним коефицијентом U утврђеним стандардом без обавезе примене - пасивна кућа.

Мера унапређења енергетских својстава улазних врата има две итерације. Прва итерација је дефинисана максималном дозвољеном вредношћу коефицијента пролаза топлоте који је утврђен националном регулативом, а друга је дефинисана одговарајућом вредношћу утврђеном стандардом пасивне куће.

Табеле 11 до 12 приказују четири итерације мера унапређења нетранспарентних елемената топлотног омотача, односно, одговарајуће коефицијенте пролаза топлоте, материјализацију и врсте и дебљине термоизолације.

Табела 10. Материјализација нетранспарентних елемената топлотног омотача референтне породичне куће након унапређења енергетских својстава

Ознака елемента	Елемент топлотног омотача	Графички приказ	Материјализација d [cm]
E1	Спољашњи зид		Малтер 2,0 Опека 38,0 Малтер 2,0 Полистирен ^{а)} Малтер 2,0
E2	Коси кров изнад грејаног простора		Цреп 2,0 Летве 5,0/3,0 Летве 5,0/3,0 Хидроизолација 1,0 Дрвена подлога 2,0 Минерална вуна ^{а)} (Греде 10/14) Ламперија 1,0
E3	Међуспратна конструкција изнад грејаног простора		Даске 2,0 Минерална вуна ^{а)} (Греде 8/14) Ламперија 1,0
E4	Међуспратна конструкција изнад отвореног пролаза		Ламинат 0,8 Цементна кошуљица 2,0 ЛМТ таваница 20,0 Малтер 2,0 Полистирен ^{а)} Малтер 2,0
E5	Под на тлу		Ламинат 0,8 Цементна кошуљица 5,0 ПВЦ фолија 0,1 Полистирен ^{а)} Цементна кошуљица 2,0 Бетон 7,0 Хидроизолација 1,0 Бетон 7,0 Шљунак 5,0

^{а)}Дебљина термоизолације је приказана за појединачне итерације мера унапређења у табели 11.

Табела 11. Врсте и дебљине термоизолације за мере унапређења нетранспаратентних елемената топлотног омотача

Параметар	Дебљина топлотне изолације d [cm]				
	Спољашњи зид	Коси кров изнад грејаног простора	Међуспратна конструкција изнад грејаног простора	Међуспратна конструкција изнад отвореног пролаза	Под на тлу
Врста термоизолације	Полистирен	Минерална вуна	Минерална вуна	Полистирен	Полистирен
Постојеће стање	0	5	5	0	0
n₁	6	18	9	12	8
n₂	10	18	12	15	12
n₃	17	24	18	19	19
n₄	23	24	23	25	25

Табела 12. Коefицијенти пролаза топлоте за мере унапређења нетранспаратентних елемената омотача

Параметар	Коefицијент пролаза топлоте U [W/(m ² ·K)]					
	Спољашњи зид	Коси кров изнад грејаног простора	Међуспратна конструкција изнад грејаног простора	Међуспратна конструкција изнад отвореног пролаза	Под на тлу	Улазна врата
Постојеће стање	0,98	0,62	0,58	1,95	1,87	3,20
n₁	0,40	0,20	0,40	0,30	0,40	1,60
n₂	0,30	0,20	0,30	0,25	0,30	1,60
n₃	0,20	0,15	0,20	0,20	0,20	0,80
n₄	0,15	0,15	0,15	0,15	0,15	0,80

5.3.1.2. Унапређење транспарентних елемената топлотног омотача

Унапређење транспарентних елемената топлотног омотача подразумева замену стакла и оквира прозора и балконских врата. Тип стакла и оквира се одређује према максималним дозвољеним и поштреним вредностима коefицијента пролаза топлоте U за остакло и оквир, и пропустљивости сунчеве енергије стакла g преузетих из националне регулативе. Четири итерације мере унапређења транспарентних елемената топлотног омотача су приказане у табели 13.

Табела 13. Мере унапређења транспарентних елемената топлотног омотача

Параметар	Тип стакла	U_g [W/(m ² ·K)]	g	Тип оквира	U_f [W/(m ² ·K)]
Постојеће стање	2-струко, обично, 3 mm	2,3	0,71	Дрвени, d = 50 mm	2,0
t ₁	2-струко, нискоемисионо, 4-16-4 mm (ваздух)	1,5	0,61	Дрвени, d = 110 mm	1,4
t ₂	2-струко, нискоемисионо, 4-15-4 mm (Ar)	1,3	0,61	PVC, 6-коморни	1,2
t ₃	3-струко, нискоемисионо, 4-8-4-8-4 mm (Kr)	0,7	0,48	Систем профила за пасивне куће, метални	0,8
t ₄	3-струко, нискоемисионо, 4-8-4-8-4 mm (Xe)	0,5	0,48	Систем профила за пасивне куће, метални	0,8

Засенчење прозора и балконских врата се постиже пвц ролетнама позиционираним са спољашње стране прозора. Све мере унапређења топлотног омотача обухватају исту наведену итерацију.

5.3.1.3. Однос површина транспарентних и нетранспарентних елемената на јужно оријентисаном спољашњем зиду

Однос транспарентних и нетранспарентних површина на топлотном омотачу зграде није уређен националном регулативом. Промена односа у површинама између балконских врата и прозора и пуних елемената спољашњег зида је често истраживана пасивна мера унапређења енергетске ефикасности зграде³⁴. Површине се рачунају за спољашње димензије дела јужно оријентисаног спољашњег зида који се граничи са грејаним волуменом куће. Пасивна мера унапређења односа транспарентних и нетранспарентних површина ради смањења годишње потрошње енергије у породичној кући обухвата једну итерацију, а однос у овим површинама се разматра за:

³⁴ Бројна истраживања се баве утицајем различитих својстава транспарентних елемената топлотног омотача на потрошњу енергије у згради. Издвајају се чланци у часописима од међународног значаја који приказују резултате анализа: односа у површинама транспарентних и нетранспарентних елемената на јужно оријентисаној фасади куће (Žegarac Leskovar, Premrov, 2011); и утицаја величине и оријентације прозора на потрошњу енергије у кући и цену (Jaber, Ajib, 2011) и на енергетске уштеде код зграда ниске потрошње енергије (Persson, Roos, Wall, 2006).

- непромењено стање са површином прозора и балконских врата од 15 m^2 , што износи 30% површине дела јужно оријентисаног спољашњег зида који се граничи са грејаним волуменом куће и
- меру унапређења енергетских својстава са повећањем површине транспарентних елемената на 30 m^2 , што износи 60% површине дела јужно оријентисаног спољашњег зида који се граничи са грејаним волуменом куће³⁵.

Слика 6 илуструје постојећи и примењени однос површина транспарентних и нетранспарентних елемената на јужно оријентисаном спољашњем зиду референтне породичне куће.



Непромењен однос транспарентних и нетранспарентних површина

Повећање површине транспарентних елемената. Ознака итерације је 2:1

Слика 6. Мера унапређења односа површина транспарентних и нетранспарентних елемената на јужно оријентисаном спољашњем зиду куће

³⁵ Сви нивои унапређења енергетских својстава референтне куће који обухватају меру унапређења односа површина транспарентних и нетранспарентних елемената на јужном зиду, без обзира на остале мере унапређења, подразумевају балконска врата и прозоре једнаких димензија. Додавањем топлотне изолације на спољашњи зид куће се повећава површина зида, што резултује променом у процентуалној заступљености транспарентних елемената на овом делу фасаде. Заступљеност од 60% је израчуната у односу на постојећи зид референтне куће, без термоизолационог материјала.

5.3.2. Активне мере унапређења енергетских својстава куће

Активне мере унапређења енергетских својстава куће се односе на мере унапређења применом техничких система за смањење топлотних губитака и производњу енергије из обновљивих извора. Активна мера унапређења смањења топлотних губитака обухвата примену система механичке вентилације. Активне мере унапређења за производњу енергије из обновљивих извора подразумевају примену активних соларних система који обухватају топлотне пријемнике сунчеве енергије (соларне колекторе за конверзију сунчеве енергије у топлоту) и фотонапонске системе за конверзију сунчеве у електричну енергију.

5.3.2.1. Механички систем за вентилацију

Активна мера унапређења енергетских својстава референтне куће са циљем смањења топлотних губитака обухвата примену система механичке вентилације. Према препорукама РНРР приручника о испуњавању услова стандарда пасивних зграда у централној Европи, неопходно је уградити механички вентилациони систем са рекуператором топлоте високе ефикасности. Вентилација ручним отварањем прозора током грејне сезоне није неопходна јер би се тиме остварили додатни топлотни губици, односно, топлота из унутрашњег ваздуха се не би могла поново користити за одржавање топлотног комфора у кући применом рекуператора (Feist et al., 2013).

Карактеристике механичког система за вентилацију су утврђене минималним захтевима стандарда пасивне куће и подразумевају примену вентилационог система са рекуператором топлоте ефикасности 75%. Карактеристике система су преузете са спецификација вентилационог система сертификованог од стране Института пасивна кућа, који се сматра одговарајућом компонентом за испуњавање услова из стандарда. Мера унапређења референтне породичне куће применом механичког вентилационог система са одговарајућом ознаком је приказана у табели 14.

Табела 14. Мера унапређења применом активног система за смањење топлотних губитака

Активни систем	Ознака	Тип система
Систем за вентилацију	ν	Вентилациони систем са рекуператором топлоте ефикасности $\eta = 75\%$

5.3.2.2. Активни соларни системи

Активне мере унапређења са циљем производње енергије из ОИ обухватају две мере, примену топлотних пријемника сунчеве енергије и примену фотонапонских система за конверзију сунчеве у електричну енергију. Карактеристике одабраних активних соларних система су преузете са спецификација производа доступних на локалном тржишту. Итерације активних мера унапређења енергетских својстава референтне породичне куће су приказане у табели 15.

Табела 15. Активне мере унапређења енергетских својстава референтне породичне куће

Активни систем	Тип система
Топлотни пријемници сунчеве енергије	Нискотемпературни, равни топлотни пријемници
	Цевно-вакуумски топлотни пријемници
Фотонапонски панели	Ћелије од поликристалног силицијума
	Ћелије од монокристалног силицијума

Димензионисање нискотемпературних равних и цевно-вакуумских топлотних пријемника сунчеве енергије се врши према препоруци РНРР приручника (Feist et al., 2013) и геометријских карактеристика крова референтне куће. Препорука се односи на мали систем јужно оријентисаних топлотних пријемника површине топлотних колектора од 1 m^2 по особи и запремине резервоара од 70-100 l по особи. Током зимских месеци, препорука за допринос топлоте од Сунца се односи и на дупло веће површине топлотних пријемника (Feist et al., 2013). Под претпоставком да анализирано домаћинство има четири члана, усваја се да топлотни пријемници сунчеве енергије имају површине топлотних колектора од 8 m^2 .

Монокристални и поликристални фотонапонски системи дупло веће површине, од 16 m², подразумевају постављање 11 модула површине 1,46 m² који садрже по 60 соларних ћелија димензија 156 · 156 mm. Разматрају се кровни неинтегрисани системи који се механички фиксирају за кровну конструкцију зграде, не мењајући обликовне карактеристике крова или материјализацију зграде. Подаци о величини, положају и засенчењу топлотних пријемника сунчеве енергије и фотонапонских система на референтној кући су сумирани у прилогу Д, табели 42.

5.3.3. Мере унапређења електричних уређаја у домаћинству

Енергија за припрему СТВ, употребу електричних уређаја и осветљење након унапређења, процењује се компјутерском симулацијом потрошње енергије и једнака је за све нивое унапређења енергетских својстава референтне куће. Процене потрошње енергије за употребу електричних уређаја у постојећој кући су објашњене у поглављу 5.1.3 *Оперативна енергија куће пре унапређења енергетских својстава*. Реални подаци о врсти, броју, учесталости употребе, времену употребе и снази уређаја у домаћинству су сакупљени интервјуисањем станара и пописом електричних уређаја у домаћинству (прилог Г, табела 37 и 38). Унапређење подразумева употребу новијих модела уређаја са унапређеном ефикасношћу потрошње, а као релевантан пример се преузимају подаци о снази коришћених уређаја у просечном домаћинству у Бриселу (SI, 2015). На овај начин мера унапређења електричних уређаја не утиче на промене у врсти и броју уређаја и времену њиховог коришћења ради испуњавања субјективних потреба и навика станара.

Подаци о унапређеним својствима уређаја и резултујућој потрошњи финалне енергије за припрему СТВ, употребу електричних уређаја и осветљење куће унапређених енергетских својстава су приказани у прилогу Д, табели 45. У поређењу са овим вредностима, компјутерска симулација потрошње енергије за припрему СТВ, употребу електричних уређаја и осветљење у кући је резултовала је вредностима са занемаривим одступањима.

6. ОПЕРАТИВНА ЕНЕРГИЈА РЕФЕРЕНТНЕ КУЋЕ НАКОН УНАПРЕЂЕЊА ЕНЕРГЕТСКИХ СВОЈСТАВА

6.1. Испуњеност одабраних услова о енергетској ефикасности зграде

Симулација потрошње оперативне енергије у референтној кући је извршена у компјутерском програму PHPP у два корака. У првом кораку су израчунате вредности оперативне енергије референтне куће на коју су примењене мере унапређења својстава топлотног омотача (пасивне мере). У другом кораку су на ове нивое унапређења примењени механички систем за вентилацију и соларни системи за производњу енергије из ОИ (активне мере). Резултати компјутерске симулације оперативне енергије референтне куће након унапређења су сумирани у табелама прилога Д. Систематизоване су неопходне вредности потрошње у одговарајућим јединицама енергије (потребна, финална и примарна енергија) ради испитивања испуњености услова о енергетској ефикасности из националне и европске регулативе и стандарда без обавезе примене - пасивна кућа. Систематизоване вредности потрошње енергије у прилогу Д обухватају укупне вредности, вредности за различите видове потрошње енергије, вредности удела енергије произведеног активним соларним системима из ОИ и граничне дозвољене вредности одабраних услова о енергетској ефикасности.

Компаративном анализом и графичким приказом резултата компјутерске симулације оперативне енергије утврђени су они нивои унапређења који испуњавају граничне вредности из одабраних услова енергетској ефикасности из:

- националне регулативе (МГСИ, 2012, 2011),
- стандарда без обавезе примене - пасивна кућа (Feist et al., 2013) и
- европске регулативе (EPCEU, 2010, Kurnitski et al. 2014).

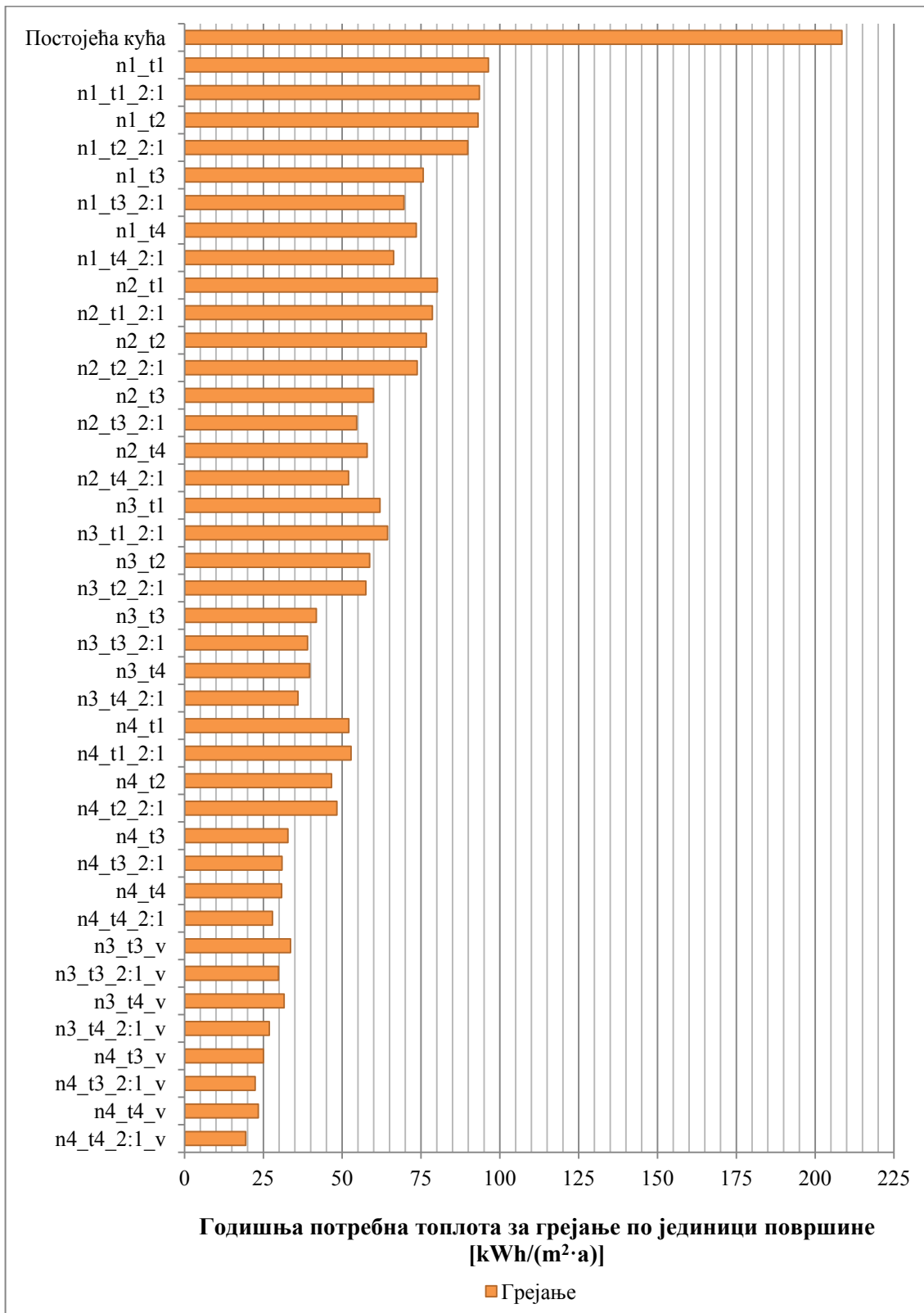
На основу испуњености одабраних услова дефинишу се три референтна нивоа унапређења породичне куће на које се примењује модел за процену енергије животног циклуса куће.

6.1.1. Испуњеност услова из националне регулативе

Одабрани услови о енергетској ефикасности постојеће зграде са једним станом утврђени националном регулативом:

- максималне дозвољене вредности коефицијента пролаза топлоте елемената топлотног омотача зграде (МГСИ, 2011) приказани су у прилогу А, табели 30, и
- побољшање за минимум један енергетски разред зграде утврђен годишњом финалном енергијом за грејање (МГСИ, 2012). Граничне вредности годишње финалне енергије и максималне дозвољене топлоте за грејање су приказани у прилогу А, табели 32.

Вредности годишње потребне топлоте за грејање по јединици стамбене површине референтне породичне куће пре и након унапређења енергетских својстава су приказане у дијаграму 13. Референтна породична кућа неизмењених енергетских својстава има годишњу потребну топлоту за грејање 208,5 kWh/(m²·a) и припада енергетском разреду Г. Након примене првог нивоа унапређења са идентификационом ознаком n_{I_tI} и постизања максималних дозвољених коефицијената пролаза топлоте за елементе топлотног омотача, референтна кућа је остварила уштеде у потребној топлоти за грејање од 112,1 kWh/(m²·a) и прешла у енергетски разред Д. Ниво унапређења са ознаком n_{I_tI} је први карактеристичан ниво енергетских својстава референтне куће на коју се примењује модел за процену енергије животног циклуса куће.



Дијаграм 13. Компарација годишње потребне топлоте за грејање по јединици стамбене површине референтне породичне куће неизмењених и унапређених енергетских својстава

6.1.2. Испуњеност услова стандарда пасивне куће

Одабрани услови о енергетској ефикасности постојеће зграде утврђени стандардом без обавезе примене - пасивна кућа³⁶ (Feist et al., 2013, PI, 2013):

- обавезан услов максималне дозвољене укупне примарне енергије израчунат једначином:

$$Q_P \leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) + (Q_H - 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})) \cdot 1,2 \quad (6.1.)$$

где су Q_P максимална дозвољена примарна енергија а Q_H потребна енергија за грејање зграде, и

- испуњен један од два следећа услова:
 - максимална дозвољена потребна енергија за грејање од 25 kWh/(m²·a) или
 - граничне вредности карактеристика неких компоненти пасивне куће наведене у прилогу Б табели 33.

Вредности годишње примарне енергије по јединици стамбене површине референтне породичне куће након унапређења енергетских својстава су приказане у дијаграму 14. Применом нивоа унапређења приказаних у дијаграму, породична кућа не испуњава обавезан услов о максималној дозвољеној укупној примарној енергији. Вредности укупне примарне енергије и максималне дозвољене за појединачне нивое унапређења референтне куће су сумиране у прилогу Д табели 46. Два објашњења неиспуњавања услова о максималној дозвољеној вредности примарне енергије су:

- највећи потенцијал за уштеде финалне енергије при унапређењу енергетских својстава куће се налази у енергији за грејање (погледати дијаграм 13 и одељак 6.3 *Уштеде у оперативној енергији референтних нивоа унапређења*). Уштеда 1 kWh финалне енергије за грејање за које се користи гас, има мањи утицај на укупну вредност примарне енергије у поређењу са уштедом 1 kWh

³⁶ Наглашава се да одабрани услови енергетске ефикасности важе за постојећу зграду унапређених енергетских својстава која испуњава услове пасивне куће дефинисане од стране Института пасивна кућа, а не услов из дефиниције пасивне куће наведене у *Правилнику о енергетској ефикасности зграда у РС*.

осталих видова потрошње финалне енергије за које се користи електрична енергија. Разлог је фактор конверзије финалне у примарну енергију (фактор конверзије за гас износи 1,1 а за електричну енергију 2,5, погледати прилог А, табелу 31). Променом енергента за грејање који има нижи фактор конверзије, као што је нпр. дрвна биомаса (фактор конверзије 0,1) би резултовао смањењем укупне примарне енергије куће; и

- Институт пасивна кућа наводи препоручену вредност потребне енергије за употребу електричних уређаја и осветљење од 18 kWh/(m²·a) што је, у овој студији случаја, еквивалентно 45 kWh/(m²·a) примарне енергије. Да би референтна кућа унапређених својстава досегла ову вредност, енергија за употребу електричних уређаја и осветљење треба да се смањи за 26,3 kWh/(m²·a) примарне, односно 10,5 kWh/(m²·a) финалне електричне енергије. Под претпоставком да се у породичној кући након унапређења употребљавају електрични уређаји и уређаји за осветљење највиших енергетских разреда и да је њихова учесталост мања у односу на реално стање (прилог Г, табела 37), односно, под претпоставком да се у референтној породичној кући троши 18 kWh/(m²·a) потребне енергије за употребу електричних уређаја и осветљење, резултат у потрошњи финалне енергије за грејање се благо повећава (због смањивања унутрашњих топлотних добитака од електричних уређаја) и истовремено се укупна вредност примарне енергије значајно смањује.

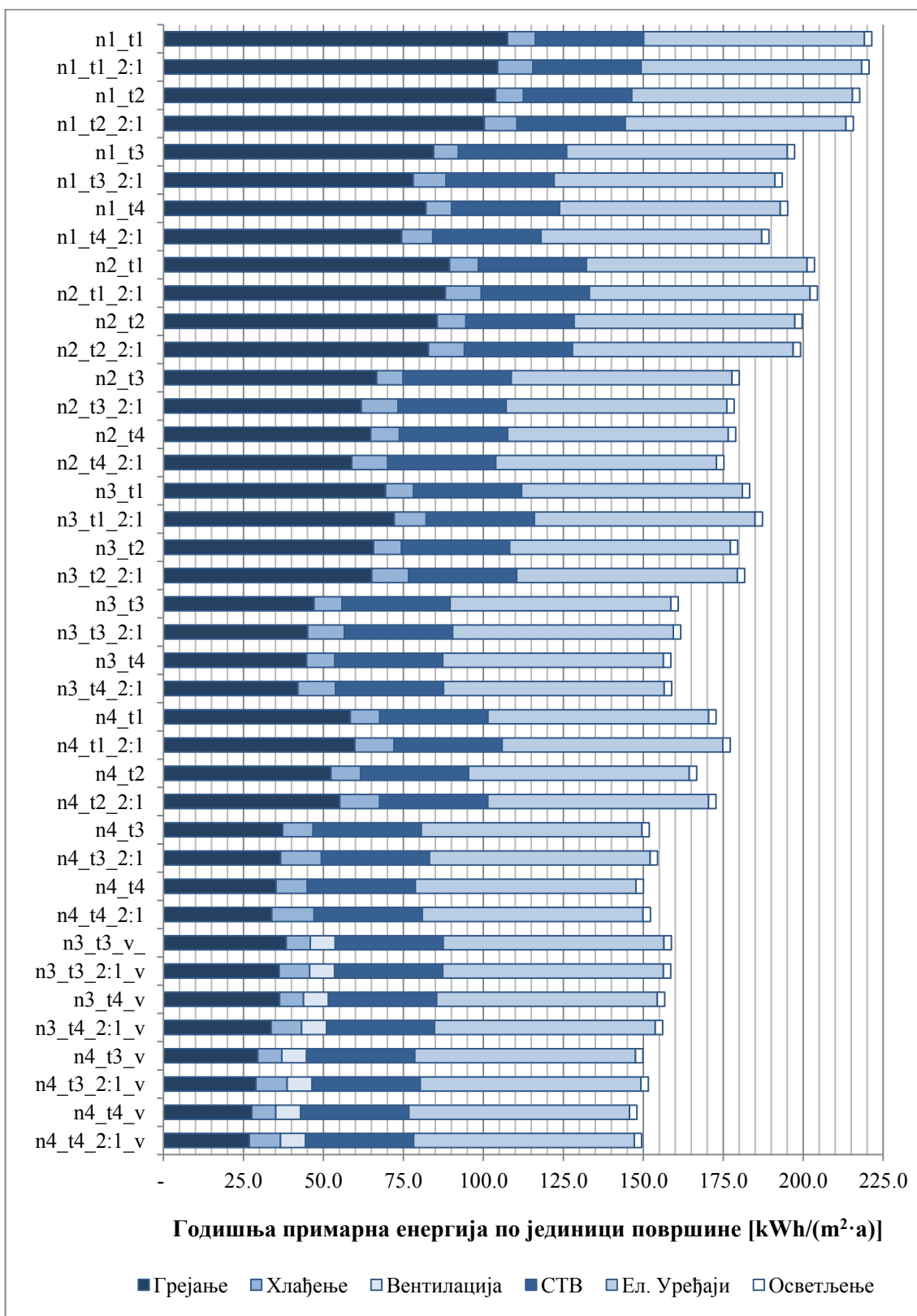
Потребна енергија за грејање референтне куће након унапређења енергетских својстава је приказана у дијаграму 13. Максимална дозвољена потребна енергија за грејање од 25 kWh/(m²·a) је испуњена са приказана 4 највиша нивоа унапређења енергетских својстава референтне куће (ознаке: $n_4\ t_3\ v$, $n_4\ t_3\ 2:1\ v$, $n_4\ t_4\ v$ и $n_4\ t_4\ 2:1\ v$) са оствареним уштедама корисне енергије за грејање од 183,5 до 189,1 kWh/(m²·a).

Граничне дозвољене вредности својстава појединачних компоненти пасивне куће (прилог Б, табела 33) су испуњене нивоима унапређења који садрже итерације формиране управо са циљем испуњавања овог критеријума:

- максималне дозвољене вредности коефицијента пролаза топлоте U за елементе топлотног омотача пасивне куће, испуњене су четвртом итерацијом мере унапређења нетранспарентних елемената топлотног омотача референтне куће (ознака: n_4),
- максималне дозвољене вредности карактеристика врата и прозора на топлотном омотачу пасивне куће, испуњене су са трећом и четвртом итерацијом мере унапређења транспарентних елемената топлотног омотача референтне куће са (ознаке: t_3 и t_4),
- карактеристике примењеног вентилационог система на референтну кућу су једнаке карактеристикама система сертификованог као одговарајућа компонента за испуњавање стандарда од стране Института пасивна кућа (ознака: v), и
- број измена ваздуха инфилтрацијом је код свих нивоа унапређења енергетских својстава мањи од $0,1 \text{ h}^{-1}$.

Референтна кућа на коју је примењен ниво унапређења са ознаком $n_4_t_3_v$, је усвојена као кућа другог карактеристичног нивоа унапређења енергетских својстава, на коју се примењује модел за процену енергије животног циклуса куће. Обавезан услов о максималној дозвољеној примарној енергији није испуњен³⁷. Максимална дозвољена потребна енергија за грејање куће након унапређења износи $25 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$. Ниво унапређења обухвата примену компоненти куће чије особине испуњавају захтеве стандарда пасивна кућа.

³⁷ Услов је могуће испунити додатним унапређењем уређаја за домаћинство и смањењем учесталости њихове употребе. Према стандарду *EnerPHit* за сертификацију постојећих кућа, циљана вредност потребне енергије за употребу електричних уређаја и осветљење је $18 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ (Feist et al., 2013).



Дијаграм 14. Компарација годишње примарне енергије по јединици стамбене површине референтне породичне куће унапређених енергетских својстава

6.1.3. Испуњеност услова из европске регулативе

Одабрани услови о енергетској ефикасности зграде утврђени на основу европске регулативе (EPCEU, 2010) и дефиниција зграда близу нулте енергије, за следеће државе чланице ЕУ (Kurnitski et al., 2014):

- Словачка: допуштене максималне вредности примарне енергије за грејање и припрему СТВ у породичној кући од $54 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ са 50% заступљености енергије из ОИ (без обавезе обухватања енергије из ОИ у енергетски биланс),
- Естонија: допуштене максималне вредности примарне енергије за све видове потрошње енергије у слободностојећој кући од $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$, која обухвата енергију из ОИ (без навођења обавезе обухватања енергије из ОИ у енергетски биланс) и
- Белгија, Брисел: допуштене максималне вредности примарне енергије за грејање, припрему СТВ и употребу електричних уређаја у индивидуалним становима од $45 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ која обухвата енергију из ОИ (без навођења обавезе обухватања енергије из ОИ у енергетски биланс).

Вредности годишње енергије по јединици стамбене површине референтне куће произведене активним соларним системима су приказане у табели 16. Применом топлотних пријемника сунчеве енергије се производи топлота за припрему СТВ, а применом фотонапонских система се производи електрична енергија за све видове потрошње енергије, осим за грејање куће.

Табела 16. Енергија произведена активним соларним системима примењеним на референтну породичну кућу

Активни соларни систем	Тип система	Енергија из ОИ [kWh/a]	Енергија из ОИ [kWh/(m ² ·a)]
Топлотни пријемници сунчеве енергије	Нискотемпературни, равни топлотни пријемници	1343	9,6
	Цевно-вакуумски топлотни пријемници	1592	11,3
Фотонапонски панели	Ћелије од поликристалног силицијума	1772	12,6
	Ћелије од монокристалног силицијума	1908	13,6

Вредности укупне годишње примарне енергије по јединици стамбене површине и удела енергије произведене одабраним типовима активних соларних система у финалној енергији, након унапређења енергетских својстава референтне куће, приказани су у прилогу Д, табелама 47 и 48. Испуњеност одабраних услова о енергетској ефикасности зграде из европске регулативе и NZEB дефиниција се испитује за формиране нивое унапређења куће на коју су примењени фотонапонски панели са ћелијама од монокристалног силицијума. Опредељење за ову итерацију мере унапређења је учињено на основу сумираних података у табелама 47 и 48, који показују да се ни једном од четири итерације мере унапређења активним соларним системима не испуњава гранични услов од минимум 50% заступљености енергије из ОИ (обавезан за NZEB куће изграђене на територији Словачке). Итерација мере унапређења примене фотонапонског система са ћелијама од монокристалног силицијума резултује вредностима најприближнијим испуњавању овог услова.

Вредности примарне енергије и удела енергије у укупној финалној енергији након унапређења енергетских својстава референтне куће, са граничним вредностима одабраних услова о енергетској ефикасности европске регулативе и NZEB дефиниција, приказане су у табели 17. Словна ознака *fp* у идентификационој ознаци нивоа унапређења куће подразумева фотонапонски панел са ћелијама од монокристалног силицијума.

Табела 17. Компарација примарне енергије и удела енергије произведене фотонапонским системом са ћелијама од монокристалног силицијума у укупној финалној енергији након унапређења референтне куће

Показатељ	Примарна енергија [kWh/(m ² ·a)]			ОИЕ [%]
	Словачка	Естонија	Белгија	Словачка
Услов	Примарна енергија за грејање и СТВ	Укупна примарна енергија	Примарна ен. за грејање, СТВ и ел. уређаје	Удео енергије из ОИ
Гранична вредност	54,0	50,0	45,0	50,0
n ₁ t ₁ fp	107,6	187,2	176,4	9,5
n ₁ t ₁ 2:1 fp	104,5	186,4	173,3	9,6
n ₁ t ₂ fp	103,8	183,5	172,6	9,7
n ₁ t ₂ 2:1 fp	100,3	181,4	169,1	9,9
n ₁ t ₃ fp	84,5	163,1	153,3	11,2
n ₁ t ₃ 2:1 fp	78,1	159,2	146,9	11,6
n ₁ t ₄ fp	82,1	160,9	150,9	11,4
n ₁ t ₄ 2:1 fp	74,5	155,1	143,3	12,0
n ₂ t ₁ fp	89,4	169,3	158,2	10,7
n ₂ t ₁ 2:1 fp	88,1	170,2	156,9	10,7
n ₂ t ₂ fp	85,6	165,5	154,4	11,0
n ₂ t ₂ 2:1 fp	82,8	165,0	151,6	11,2
n ₂ t ₃ fp	66,7	145,8	135,5	12,8
n ₂ t ₃ 2:1 fp	61,8	144,2	130,6	13,2
n ₂ t ₄ fp	64,8	144,7	133,6	13,0
n ₂ t ₄ 2:1 fp	58,9	141,0	127,7	13,6
n ₃ t ₁ fp	69,4	149,0	138,2	12,5
n ₃ t ₁ 2:1 fp	72,2	153,0	141,0	12,2
n ₃ t ₂ fp	65,7	145,3	134,5	12,9
n ₃ t ₂ 2:1 fp	65,1	147,5	133,9	12,9
n ₃ t ₃ fp	47,1	126,7	115,9	15,4
n ₃ t ₃ 2:1 fp	45,1	127,5	113,9	15,5
n ₃ t ₄ fp	44,8	124,4	113,6	15,8
n ₃ t ₄ 2:1 fp	42,0	124,6	110,8	16,0
n ₄ t ₁ fp	58,4	138,5	127,2	13,8
n ₄ t ₁ 2:1 fp	59,8	143,0	128,6	13,4
n ₄ t ₂ fp	52,4	132,5	121,2	14,6
n ₄ t ₂ 2:1 fp	55,1	138,5	123,9	14,0
n ₄ t ₃ fp	37,3	117,7	106,1	17,1
n ₄ t ₃ 2:1 fp	36,6	120,3	105,4	16,9
n ₄ t ₄ fp	35,2	115,8	104,0	17,5
n ₄ t ₄ 2:1 fp	33,9	118,0	102,7	17,4
n ₃ t ₃ v fp	38,4	124,5	107,2	16,4
n ₃ t ₃ 2:1 v fp	36,2	124,3	105,0	16,6
n ₃ t ₄ v fp	36,3	122,4	105,1	16,8
n ₃ t ₄ 2:1 v fp	33,7	121,8	102,5	17,1
n ₄ t ₃ v fp	29,5	115,6	98,3	18,2
n ₄ t ₃ 2:1 v fp	28,9	117,3	97,7	18,1
n ₄ t ₄ v fp	27,6	113,7	96,4	18,6
n ₄ t ₄ 2:1 v fp	26,8	115,2	95,6	18,5

Испуњеност одабраних граничних услова о енергетској ефикасности зграде утврђене на основу NZEB дефиниција важећих у Словачкој, Естонији и Белгији, Бриселу се редом утврђује на основу података из табеле 17:

- услов о максималној дозвољеној вредности примарне енергије за грејање и припрему СТВ у породичној кући од $54 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ је испуњен са 17 нивоа унапређења референтне куће. Применом активних система се производи енергија за припрему СТВ, а у табели су приказане вредности примарне енергије за грејање куће. Удео енергије из ОИ од 50% није испуњен ни са једним нивоом унапређења куће.
- Максимална вредност примарне енергије за све видове потрошње у слободностојећој кући од $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ није испуњена одабраним активним и пасивним мерама унапређења референтне куће.
- Максимална вредност примарне енергије за грејање, припрему СТВ и употребу електричних уређаја од $45 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ такође није испуњена одабраним активним и пасивним мерама унапређења референтне куће.

Закључује се да се унапређењем енергетских својстава референтне куће одабраним активним и пасивним мерама не испуњавају услови о енергетској ефикасности преузети из NZEB дефиниција Словачке, Естоније и Брисела. Референтна кућа унапређењем енергетских својстава може да испуни појединачан услов о потрошњи примарне енергије из NZEB дефиниције Словачке, али се напомиње да овим условом породична кућа није верификована као NZEB кућа. Стога се модел за процену енергије животног циклуса примењује на породичну кућу унапређених енергетских својстава са ознаком $n_4\ t_4\ 2:1\ v\ fp$, јер су резултати примене овог нивоа унапређења на породичну кућу најприближнији испуњавању одабраних услова о енергетској ефикасности из европске регулативе.

6.2. Референтни нивои унапређења енергетских својстава породичне куће

Модел за процену енергије животног циклуса се примењује на референтну породичну кућу неизмењених енергетских својстава и на три нивоа унапређења одабрана на основу испитивања испуњености услова енергетске ефикасности из националне и европске регулативе и стандарда без обавезе примене - пасивна кућа. Табела 18 систематизује енергетска својства четири варијанте референтне куће:

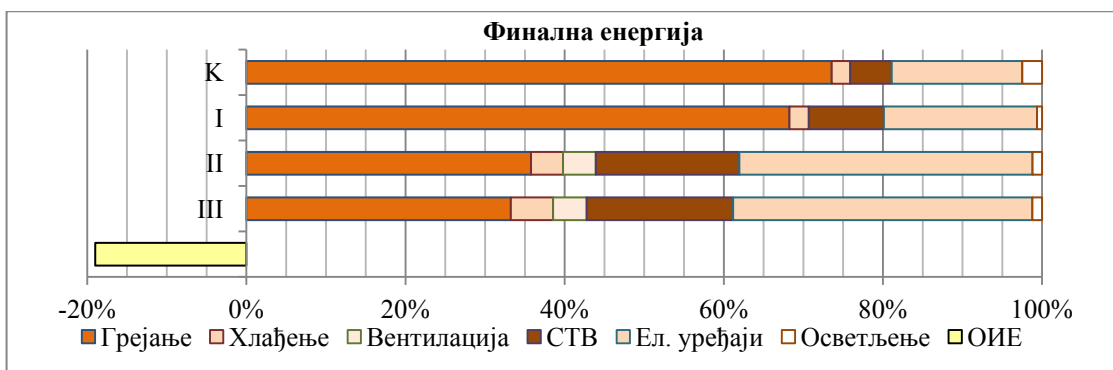
- типична породична кућа у Сомбору на коју нису примењене мере унапређења енергетских својстава, означена словом К и описана у одељку 5.1.2,
- први референтан ниво унапређења $n_1 t_1$ (са новом ознаком римског броја I) је кућа која након унапређења испуњава одабране услове енергетске ефикасности из националне регулативе о побољшању енергетских својстава елемената топлотног омотача и унапређења за најмање један енергетски разред,
- други референтан ниво унапређења $n_4 t_3 v$ (са новом ознаком II) је кућа која након унапређења испуњава одабрани услов енергетске ефикасности из стандарда пасивна кућа о максималној дозвољеној вредности годишње потребне енергије за грејање од 25 kWh/(m²a) и, уз накнадне измене о препорученим вредностима потрошње енергије за употребу електричних уређаја, испуњава услов о максималној дозвољеној вредности укупне финалне енергије, и
- трећи референтан ниво унапређења $n_4 t_4 2:1 v fp$ (са новом ознаком III) је кућа која након унапређења испуњава један услов о максималној дозвољеној потрошњи финалне енергије за грејање и припрему СТВ од 45 kWh/(m²a), али не испуњава остале одабране услове о потрошњи примарне енергије и уделу енергије произведене из ОИ из европске регулативе, односно, NZEB дефиниција Словачке, Естоније и Брисела.

Табела 18. Енергетска својства варијанти референтне куће на које се примењује модел за процену ен. животног циклуса

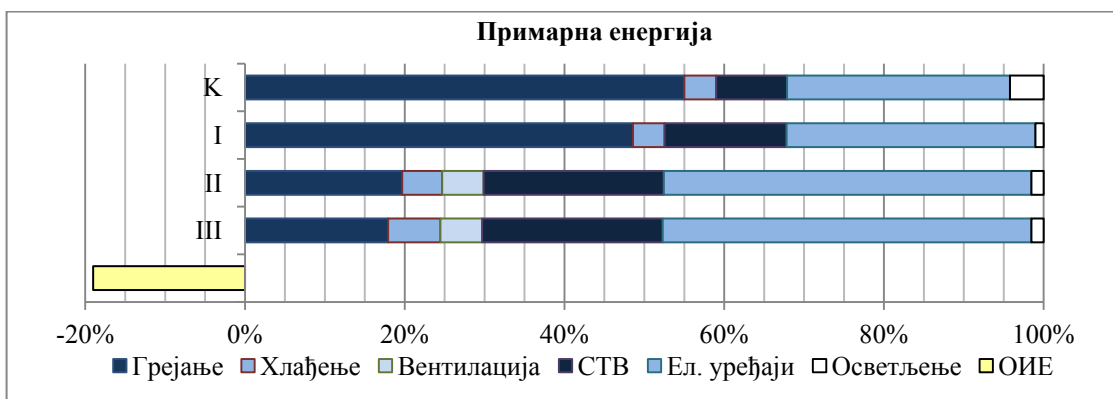
Идентификациона ознака варијанте куће		К	І	ІІ	ІІІ
Идентификациона ознака нивоа унапређења		-	$n_1 t_1$	$n_4 t_3 v$	$n_4 t_4 2:1 v fp$
Критеријум одабира		Постојеће стање	Минимални услови националне регулативе	Услови стандарда без обавезе примене - пасивна кућа	Услови NZEB зграда утврђени европском регулативом
Нетранспарентни елементи омотача	Спољашњи зид	0,98	0,40	0,15	0,15
	Коси кров изнад грејаног простора	0,62	0,20	0,15	0,15
	Међуспратна конструкција изнад грејаног простора	0,58	0,40	0,15	0,15
	Коефицијент пролаза топлоте U [kWh/(m ² ·a)]	1,95	0,30	0,15	0,15
	Под на тлу	1,95	0,40	0,15	0,15
	Улазна врата	3,20	1,60	0,80	0,80
	Транспарентни елементи омотача	Тип прозора	2-струки	1-струки	1-струки
Тип стакла		1-струко, обично 3mm	2-струко, нискоемисионо, 4-16-4 mm (ваздух)	3-струко, нискоемисионо, 4-8-4-8-4 mm (Kr)	3-струко, нискоемисионо, 4-8-4-8-4 mm (Xe)
Коефицијент пролаза топлоте стакла U [kWh/(m ² ·a)]		2,30	1,50	0,70	0,50
Тип оквира		Дрвени, d = 50 mm	Дрвени d = 110 mm	Метални, систем профила за пасивне куће	Метални, систем профила за пасивне куће
Коефицијент пролаза топлоте оквира U [kWh/(m ² ·a)]		2,00	1,20	0,80	0,80
Удео транспарентних површина на јужно оријентисаној фасади	30%	30%	30%	60%	
Механички систем за вентилацију	Не	Не	Да	Да	
Активни соларни систем	Не	Не	Не	Фотонапонски панели, ћелије од монокристалног силицијума	

6.3. Уштеде у оперативној енергији референтних нивоа унапређења

Примарна и финална енергија по јединици стамбене површине према видовима потрошње енергије у референтној кући, као и уштеде постигнуте применом три нивоа унапређења њених енергетских својстава, сумиране су у табелама 19 и 20. Приказане вредности су резултат компјутерске симулације потрошње енергије за четири варијанте енергетских својстава референтне куће, приказаних у табели 18. Уштеде се рачунају у односу на енергетска својства варијанти породичне куће у којима су енергенти за грејање еквивалентни пре и након поступака унапређења, а подразумевају гас за грејање и електричну енергију за остале видове потрошње. Процентуална заступљеност различитих видова потрошње примарне и финалне енергије у породичној кући пре и након унапређења енергетских својстава је илустрована дијаграмима 15 и 16.



Дијаграм 15. Процентуална заступљеност годишње финалне енергије према видовима потрошње у породичној кући неизмењених и унапређених енергетских својстава



Дијаграм 16. Процентуална заступљеност годишње примарне енергије према видовима потрошње у породичној кући неизмењених и унапређених енергетских својстава

Табела 19. Годишња финална енергија по јединици стамбене површине и уштеде постигнуте применом три нивоа унапређења енергетских својстава куће

Ознака	Грејање		Хлађење		Вентилација		Припрема СТВ		Употреба ел. уређаја		Осветљење		ОИЕ		Укупно	
	kWh/(m ² ·a)	%	kWh/(m ² ·a)	%	kWh/(m ² ·a)	%	kWh/(m ² ·a)	%	kWh/(m ² ·a)	%	kWh/(m ² ·a)	%	kWh/(m ² ·a)	%	kWh/(m ² ·a)	%
К	211,1	-	6,7	-	-	-	15,0	-	47,1	-	7,1	-	-	-	287,0	-
I	97,8	54	3,5	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	143,3	50	
II	26,8	87	3,0	55	3,1	-	13,5	10	27,6	41	0,9	87	-	74,9	74	
III	24,4	88	3,9	42	3,1	-	-	-	-	-	-	-	-13,6	+19	59,8	79

Табела 20. Годишња примарна енергија по јединици стамбене површине и уштеде постигнуте применом три нивоа унапређења енергетских својстава куће

Ознака	Грејање		Хлађење		Вентилација		Припрема СТВ		Употреба ел. уређаја		Осветљење		ОИЕ		Укупно	
	kWh/(m ² ·a)	%	kWh/(m ² ·a)	%	kWh/(m ² ·a)	%	kWh/(m ² ·a)	%	kWh/(m ² ·a)	%	kWh/(m ² ·a)	%	kWh/(m ² ·a)	%	kWh/(m ² ·a)	%
К	232,2	-	16,8	-	-	-	37,5	-	117,8	-	17,8	-	-	-	421,8	-
I	107,6	54	8,8	48	-	-	-	-	-	-	-	-	-	221,2	48	
II	29,5	87	7,5	55	7,8	-	33,8	10	69,0	41	2,3	87	-	149,6	65	
III	26,8	88	9,8	42	7,8	-	-	-	-	-	-	-	-34,0	+19	115,2	73

7. МОДЕЛ ЗА ПРОЦЕНУ ЕНЕРГИЈЕ ЖИВОТНОГ ЦИКЛУСА КУЋЕ НА КОЈУ СУ ПРИМЕЊЕНЕ МЕРЕ УНАПРЕЂЕЊА ЕНЕРГЕТСКИХ СВОЈСТАВА

7.1. Структура модела животног циклуса породичне куће

LCA и LCEA методологије, фазе, границе система и категорије енергије су образложене у поглављу 3, а специфичности методолошких поступака процене уграђене и оперативне енергије постојећих зграда у Србији су изложене у поглављу 4. Анализом структуре животног циклуса зграда, систематизацијом постојећих математичких модела за процену уграђене енергије, поређењем иностраних база података уграђене енергије, утврђивањем специфичности и конципирањем неопходних претпоставки за процену уграђене енергије као и сагледавањем извора података за процену оперативне енергије зграде, омогућено је формирање модела за процену енергије животног циклуса породичних кућа који може да се примени на породичне куће у Србији.

Пошто се модел формира за зграде чији животни циклус садржи фазу одржавања и унапређења енергетских својстава, фаза коришћења зграде се рашчлањује на коришћење зграде пре и коришћење зграде након поступака унапређења. Усвајају се називи *иницијална оперативна енергија* и *накнадна оперативна енергија*, по узору на називе енергетских поткатегија уграђене енергије. Коригована структура животног циклуса породичне куће у Србији на коју се примењују мере унапређења енергетских својстава, илустрована је у дијаграму 17.



Дијаграм 17. Коригована структура фаза, енергетских поткатегорија и граница система у животном циклусу зграде

Фаза животног циклуса одржавање и унапређење енергетских својстава зграде се усложњава прикључивањем фаза животног циклуса примењених грађевинских материјала, производа и система. Животни циклуси зграде и компоненти примењених за њено одржавање и унапређење се одвијају паралелно, а њихова потрошња енергије спада у поткатегорију накнадне уграђене енергије.

Усложњавање и рашчлањивање фаза животног циклуса је основа за структуру модела за процену енергије животног циклуса зграде на коју се примењује поступак унапређења енергетских својстава. Структура модела за процену уграђене и оперативне енергије који се може применити на породичне куће у Србији, илустрована је дијаграмом 18.



Дијаграм 18. Структура модела за процену уграђене и оперативне енергије током животног циклуса зграде на коју се примењује поступак унапређења енергетских својстава

Дијаграм 18 дефинише пет сегмената модела за процену уграђене и оперативне енергије, који добијају називе парцијални модели одговарајућих енергетских поткатегорија:

- иницијална уграђена енергија,
- иницијална оперативна енергија,
- накнадна уграђена енергија,
- накнадна оперативна енергија и
- енергија рушења зграде.

Парцијални модели стоје самостално и указују на енергетску потрошњу која се додељује одређеном сегменту животног циклуса, или се међусобно повезују у зависности од поступка унапређења енергетских својстава и категорија енергије у животном циклусу зграде:

- поступак унапређења енергетских својстава дели модел животног циклуса на парцијалне моделе пре и након унапређења. Парцијални модели иницијалне уграђене и иницијалне оперативне енергије имају константне улазне и излазне податке у инвентарима, а парцијални модели накнадне уграђене, накнадне оперативне и енергије рушења зграде имају више потенцијалних сетова улазних и излазних података у инвентарима. Сврха поделе је испитивање и компарација резултата о енергији животног циклуса зграде већег броја могућих унапређења њених енергетских својстава;
- категорије енергије деле модел животног циклуса на парцијалне моделе за процену уграђене и оперативне енергије. Сврха поделе модела је утврђивање оправданости унапређења енергетских својстава куће са аспекта резултујућих уштеда у енергији животног циклуса и са аспекта односа између вредности енергетских категорија.

Сваком парцијалном моделу одговара један или више парцијалних инвентара и математичких једначина. Инвентар животног циклуса зграде (LCI) сумира улазне и излазне податке о потрошњи ресурса, количини отпада, емисија и других размена између зграде и животне средине. Метод анализа процеса тежи поједностављивању формирања LCI и усредсређује се на прорачун потрошње енергије током дела, или целог, животног циклуса зграде (погледати поглавље 3). Стога се у наредном тексту термин инвентар односи на листу свих података неопходних за утврђивање количина енергије које се приписују енергетским поткатегоријама животног циклуса зграде. Процене се спроводе математичким једначинама које су међусобно независне, али су компатибилне, па се њиховим комбиновањем и повезивањем формира математички модел за процену односа уграђене и оперативне енергије. На број и називе варијабли у моделу су утицали доступни подаци у Србији, формиране претпоставке и математичке једначине за процену уграђене енергије зграда (погледати поглавље 4).

Енергија за употребу грађевинских машина у поткатегоријама накнадне уграђене и енергије рушења зграде се често не обухвата LCEA методологијом (поглавље 3). Ове вредности се изражавају за једну годину предвиђеног животног века зграде и сматрају се занемаривим. Ризик о непрецизним подацима и неопходним претпоставкама о врсти и начину примене грађевинских машина будућих технологија утиче на непоузданост потенцијалних резултата. Математички модел за процену односа уграђене и оперативне енергије такође занемарује енергетску потрошњу за употребу грађевинских машина код накнадне уграђене енергије и енергије уграђене у процес рушења зграде.

7.2. Математички модел за процену уграђене и оперативне енергије

Математички модел за процену енергије животног циклуса породичне куће на коју је примењен поступак унапређења енергетских својстава садржи 17 једначина (од 7.1. до 7.17.). Варијабле у једначинама се означавају великим словом са одговарајућим потписаним и натписаним ознакама:

- слово E означава енергију,
- потписана велика слова означавају фазу, границу система или енергетску категорију уграђене или оперативне енергије,
- потписана мала слова означавају фазу или границу система животног циклуса варијабле чија се вредност односи на *јединичну меру*,
- натписана мала слова означавају енергетску категорију иницијалне, накнадне или енергије рушења.

Нпр. E_{CG}^{init} је ознака за укупну вредност иницијалне уграђене енергије у зграду (*init*), у граници система од колевке до капије (CG); E_{cg} означава вредност уграђене енергије по мерној јединици произведеног грађевинског материјала, производа и система (*cg*), у граници система од колевке до капије (*cg*).

Обухват математичког модела

Математички модел не обухвата процене оних вредности енергије које се сматрају занемаривим у укупној вредности енергије животног циклуса зграде:

- енергија за појединачне поступке уградње, демонтаже и одлагања компоненти зграде у поткатегорији накнадне уграђене енергије и
- енергија за појединачне поступке демонтаже и одлагања компоненти зграде у поткатегорији енергије рушења.

Усаглашавање мерних јединица

Резултати парцијалних математичких модела су изражени у јединицама примарне или финалне енергије, у зависности од јединица улазних података у инвентаре, односно, у зависности од извора података. У истраживању, резултати парцијалних модела за процену вредности уграђене и оперативне енергије се изражавају у јединицама примарне или финалне енергије, за целокупан животно циклус зграде [MJ/a, kWh/a]. Сумирање наведених вредности се врши након усаглашавања њихових мерних јединица. Резултати истраживања се изражавају у

облику ануализованих и кумулативних вредности примарне енергије по јединици стамбене површине:

- ануализоване вредности [$\text{kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$] су средње вредности енергетске потрошње које се односе на временски период дела или целог животног века зграде: поткатогије уграђене енергије се изражавају на нивоу једне године временског периода *целог* животног века зграде; иницијална и накнадна оперативна енергија пре и након поступака унапређења енергетских својстава се изражавају на нивоу *типичне* године дела животног века зграде; укупна ануализована оперативна енергија изражава средњу вредност на нивоу *целог* животног века зграде, и
- кумулативне вредности [kWh/m^2] подразумевају непрекидно додавање вредности потрошене енергије током временског периода једног дела или целог предвиђеног животног циклуса зграде, а могу да се односе на категорију или енергију животног циклуса. Раст кумулативних вредности енергије током временског периода је илустрован дијаграмима (полавље 8).

7.2.1. Енергија животног циклуса зграде

Енергија животног циклуса зграде E_{LCE} се рачуна се према следећој једначини:

$$E_{LCE} = E_E + E_O \quad (7.1.)$$

где су

E_E Уграђена енергија током целог животног циклуса и

E_O Оперативна енергија током целог животног циклуса.

Уграђена енергија животног циклуса зграде E_E се рачуна према следећој једначини:

$$E_E = E_E^{init} + E_E^{rec} + E_E^{demo} \quad (7.2.)$$

где су

E_E^{init} Иницијална уграђена енергија,

E_E^{rec} Накнадна уграђена енергија и

E_E^{demo} Енергија уграђена у рушење зграде.

Оперативна енергија животног циклуса зграде E_O се рачуна према следећој једначини:

$$E_O = E_O^{init} + E_O^{rec} \quad (7.3.)$$

где су

E_O^{init} Иницијална оперативна енергија и

E_O^{rec} Накнадна оперативна енергија.

7.2.2. Парцијални модел за иницијалну уграђену енергију

Иницијална уграђена енергија зграде E_E^{init} рачуна се према следећој једначини:

$$E_E^{init} = E_{CG}^{init} + E_T^{init} + E_A^{init} \quad (7.4.)$$

где су

- E_{CG}^{init} Потрошња енергије у оквиру граница система од колевке до капије,
- E_T^{init} Потрошња енергије за транспорт од фабрике до грађевинске локације и
- E_A^{init} Потрошња енергије за изградњу и уградњу грађевинског материјала и производа у породичну кућу

Иницијална уграђена енергија у производњи компоненти зграде, обухвата од колевке до капије, E_{CG}^{init} рачуна се следећом једначином:

$$E_{CG}^{init} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot w_i \cdot E_{cg,i} \quad (7.5.)$$

где су

- n Број грађевинских материјала, производа и система,
- i Врста грађевинских материјала, производа и система,
- m Измерене количине грађевинских материјала, производа и система i [kg, m³, m², m, ком.],
- w Коефицијент отпада грађевинских материјала, производа и система i и
- $E_{cg,i}$ Уграђена енергија по мерној јединици произведеног грађевинског материјала, производа и система i у граници система од колевке до капије [MJ/Eq].

Иницијална уграђена енергија у транспорт грађевинских материјала, производа и система од фабрике до грађевинске локације E_T^{init} се рачуна следећом једначином:

$$E_T^{init} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot w_i \cdot d_i \cdot E_{t,i} \quad (7.6.)$$

где су

- i Врста материјала, производа и система,
- n Број материјала, производа и система,
- m_i Маса измерене количине грађевинских материјала, производа и система i [t],
- w_i Коефицијент отпада материјала, производа и система i ,
- d_i Дистанца испоруке материјала, производа и система i од фабрике (преко стоваришта или другог центра за дистрибуцију) до грађевинске локације [km] и
- $E_{t,i}$ Уграђена енергија за испоруку 1t материјала, производа и система i за пређену дистанцу пута од 1km [MJ/(t·km)].

Иницијална уграђена енергија у изградњу и уградњу грађевинског материјала, производа или система у зграду E_A^{init} се рачуна према следећој једначини:

$$E_A^{init} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot \frac{Q_i}{p_i \cdot k_i} \quad (7.7.)$$

где су

- i Врста грађевинских машина,
- n Број грађевинских машина,
- P_i Снага мотора грађевинске машине i [kW],
- Q_i Количина грађевинских радова извршена грађевинском машином i [kg, m³, m², m, ком.],
- p_i Теоријски учинак грађевинске машине i [Eq/h, Eq/циклус] и
- k_i Редукциони коефицијент учинка грађевинске машине i .

7.2.3. Парцијални модел за накнадну уграђену енергију

Накнадна уграђена енергија зграде E_E^{rec} се рачуна следећом једначином:

$$E_E^{rec} = E_{CG}^{rec} + E_T^{rec} + E_A^{rec} \quad (7.8.)$$

где су

E_{CG}^{rec} Уграђена енергија грађевинских материјала, производа и система у граници система животног циклуса од колевке до капије,

E_T^{rec} Уграђена енергија у транспорт од фабрике до грађевинске локације и

E_A^{rec} Уграђена енергија за спровођење мере одржавања или унапређења енергетских својстава породичне куће.

Вредности накнадне уграђене енергије за спровођење мера одржавања или унапређења енергетских својстава породичне куће су на нивоу животног циклуса занемариве и нису укључене у математички модел. Накнадна уграђена енергија зграде E_E^{rec} се рачуна следећом једначином:

$$E_E^{rec} = E_{CG}^{rec} + E_T^{rec} \quad (7.9.)$$

где су

E_{CG}^{rec} Уграђена енергија грађевинских материјала, производа и система у граници система животног циклуса од колевке до капије и

E_T^{rec} Уграђена енергија у транспорт од фабрике до грађевинске локације.

Накнадна уграђена енергија у производњу грађевинских материјала, производа и система, обухвата границе система од колевке до капије, E_{CG}^{rec} рачуна се следећим једначинама:

За поступке одржавања зграде³⁸:

$$E_{CG}^{rec} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot w_i \cdot E_{cg,i} \cdot (c_i - 1) \quad (7.10.)$$

За поступке унапређења енергетских својстава зграде³⁹:

$$E_{CG}^{rec} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot w_i \cdot E_{cg,i} \cdot c_i \quad (7.11.)$$

где су

- n Број грађевинских материјала, производа и система,
- i Врста грађевинских материјала, производа и система,
- m_i Измерене количине грађевинских материјала, производа и система i [kg, m³, m², m, ком.],
- w_i Коефицијент отпада грађевинских материјала, производа и система,
- $E_{cg,i}$ Уграђена енергија по мерној јединици произведеног грађевинског материјала, производа и система i у граници система од колевке до капије грађевинских материјала и производа [MJ/Eq] и
- c_i Број животних векова појединачних грађевинских материјала, производа и система i током трајања животног века зграде.

³⁸ У процесу одржавања који подразумева замену *постојеће* компоненте зграде, од укупног броја животних векова компоненте (од почетка до завршетка предвиђеног животног века зграде), одузима се 1. Овај циклус подразумева први животни век компоненте, који је обухваћен парцијалним моделом за иницијалну уграђену енергију у зграду.

³⁹ У процесу унапређења енергетских својстава зграде који подразумева уградњу *нове* компоненте, рачуна се укупан број животних векова компоненте у предвиђеном веку зграде, јер сви припадају парцијалном моделу накнадне уграђене енергије у зграду.

Накнадна уграђена енергија у транспорт грађевинских материјала, производа и система од фабрике до грађевинске локације и од грађевинске локације до места елиминације E_T^{rec} се рачуна следећим једначинама.

За транспорт од фабрике до грађевинске локације и од грађевинске локације до места елиминације током поступака одржавања и за транспорт од грађевинске локације до места елиминације током поступака унапређења енергетских својстава зграде:

$$E_T^{rec} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot w_i \cdot d_i \cdot E_{t,i} \cdot (c_i - 1) \quad (7.12.)$$

За транспорт од фабрике до грађевинске локације током поступака унапређења енергетских својстава зграде:

$$E_T^{rec} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot w_i \cdot d_i \cdot E_{t,i} \cdot c_i \quad (7.13.)$$

где су

- i Врста материјала, производа и система,
- n Број материјала, производа и система,
- m_i Измерене количине грађевинских материјала, производа и система i [kg, m³, m², m, ком.] претворене у мерну јединицу масе [t],
- w_i Коефицијент отпада грађевинских материјала, производа и система i ,
- d_i Дистанца испоруке материјала, производа и система i од фабрике до грађевинске локације или од грађевинске локације до места елиминације [km],
- $E_{t,i}$ Уграђена енергија за испоруку 1t материјала, производа и система i за пређену дистанцу пута од 1km од фабрике до грађевинске локације или од грађевинске локације до места елиминације [MJ/(t·km)]и
- c_i Број измена грађевинских материјала, производа и система i током животног века зграде.

7.2.4. Парцијални модел за енергију рушења

Уграђена енергија током рушења зграде E_E^{demo} рачуна се према следећој једначини:

$$E_E^{demo} = E_D^{demo} + E_T^{demo} + E_{EL}^{demo} \quad (7.14.)$$

где су

E_D^{demo} Уграђена енергија током фазе животног циклуса рушење зграде,

E_T^{demo} Уграђена енергија за транспорт грађевинских материјала, производа и система од грађевинске локације до места елиминације и

E_{EL}^{demo} Уграђена енергија током елиминације грађевинских материјала, производа и система.

Вредности уграђене енергије током фаза рушење зграде и поступци одлагања компоненти зграде су на нивоу животног циклуса занемариве и нису укључене у математички модел. Уграђена енергија током рушења зграде E_E^{demo} рачуна се према следећој једначини:

$$E_E^{demo} = E_T^{demo} \quad (7.15.)$$

где је

E_T^{demo} Уграђена енергија за транспорт грађевинских материјала, производа и система од грађевинске локације до места елиминације.

Енергија рушења уграђена у транспорт грађевинских материјала, производа и система од грађевинске локације до места елиминације E_T^{demo} се рачуна следећом једначином:

$$E_T^{demo} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot w_i \cdot d_i \cdot E_{t,i} \quad (7.16.)$$

где су

n Број материјала, производа и система,

i Врста материјала, производа и система,

m_i Измерене количине грађевинских материјала, производа и система i [kg, m³, m², m, ком.] претворене у мерну јединицу масе [t],

- w_i Коефицијент отпада грађевинских материјала, производа и система i ,
- d_i Дистанца испоруке материјала, производа и система i од грађевинске локације до места елиминације [km],
- $E_{t,i}$ Уграђена енергија за испоруку 1t материјала, производа и система i за пређену дистанцу пута од 1km [MJ/(t·km)]

7.2.5. Парцијални модели за иницијалну и накнадну оперативну енергију

Иницијална оперативна енергија пре и накнадна оперативна енергија након унапређења енергетских својстава зграде, редом E_O^{init} и E_O^{rec} , рачунају се следећом једначином:

$$E_O^{init} = E_O^{rec} = \sum_{i=1}^n (E_{h,i} + E_{c,i} + E_{v,i} + E_{dwh,i} + E_{ea,i} + E_{l,i} - E_{re,i}) \cdot y_i \quad (7.17.)$$

где су

- i Типична година пре унапређења енергетских својстава куће,
- n Број типичних година пре унапређења енергетских својстава куће,
- $E_{h,i}$ Енергија за грејање зграде током типичне године i [kWh/a],
- $E_{c,i}$ Енергија за хлађење зграде током типичне године i [kWh/a],
- $E_{v,i}$ Енергија за вентилацију зграде током типичне године i [kWh/a],
- $E_{dwh,i}$ Енергија за припрему СТВ у згради током типичне године i [kWh/a],
- $E_{ea,i}$ Енергија за коришћење електричних уређаја у згради током типичне године i [kWh/a],
- $E_{l,i}$ Енергија за осветљење зграде током типичне године i [kWh/a],
- $E_{re,i}$ Енергија произведена технологијама које користе ОИ примењене на зграду током типичне године i [kWh/a] и
- y_i Број година животног века зграде за које важи потрошња енергије у згради током типичне године i пре унапређења енергетских својстава.

Примена математичког модела на референтну породичну кућу

Математички модел за процену енергије животног циклуса је примењен на референтну породичну кућу у Сомбору описану у одељку 5.1.2. Однос уграђене и оперативне енергије је утврђен за постојећу кућу непромењених енергетских својстава и три одабрана нивоа унапређења енергетских својстава куће, сумирани у табели 18. Половина постојећих породичних кућа у Сомбору је изграђена у временском периоду од три деценије, од 1961. до 1990. године (одељак 5.1.1). Анализа временског аспекта примене мера унапређења енергетских својстава, у предвиђеном животном веку куће од 100 година, спроводи се на начин да се математички модел примењује на типичну породичну кућу која пролази кроз поступак унапређења 30, 40 и 50 година након њене изградње. Ознаке анализираних варијанти референтне породичне куће су састављене спајањем:

- словном ознаком К за кућу неизмењених енергетских својстава или ознаке римским бројевима I, II и III за нивое унапређења утврђене на основу испуњености одабраних услова о енергетској ефикасности из националне и европске регулативе и стандарда пасивна кућа, са
- бројчаним ознакама 30, 40 и 50, које означавају број година између времена изградње куће и примене поступка унапређења енергетских својстава.

Пример инвентара за подваријанту породичне куће I-30 је приказан у прилогу Ђ. Пример се односи на породичну кућу на коју су 30 година након изградње примењене мере унапређења ради испуњавања минималних услова о енергетској ефикасности утврђене националном регулативом.

8. ПРИМЕНА МОДЕЛА НА ТИПИЧНУ ПОРОДИЧНУ КУЋУ У СОМБОРУ

8.1. Уграђена и оперативна енергија са аспекта одабраних нивоа унапређења

Математички модел за процену енергије животног циклуса куће је примењен на четири варијанте типичне породичне куће у Сомбору чија су енергетска својства описана у табели 18. Прва варијанта подразумева породичну кућу неизмењених енергетских својстава, а наредне варијанте подразумевају породичну кућу унапређену са три референтна нивоа унапређења ради испуњавања одабраних услова енергетске ефикасности из националне и европске регулативе и стандарда пасивна кућа. Резултати су изложени табеларним приказом ануализоване примарне енергије по јединици стамбене површине породичне куће (табеле 21 до 24) и графичким приказом кумулативне потрошње примарне енергије по јединици стамбене површине породичне куће, током предвиђеног животног циклуса од 100 година (дијаграми 19 до 22).

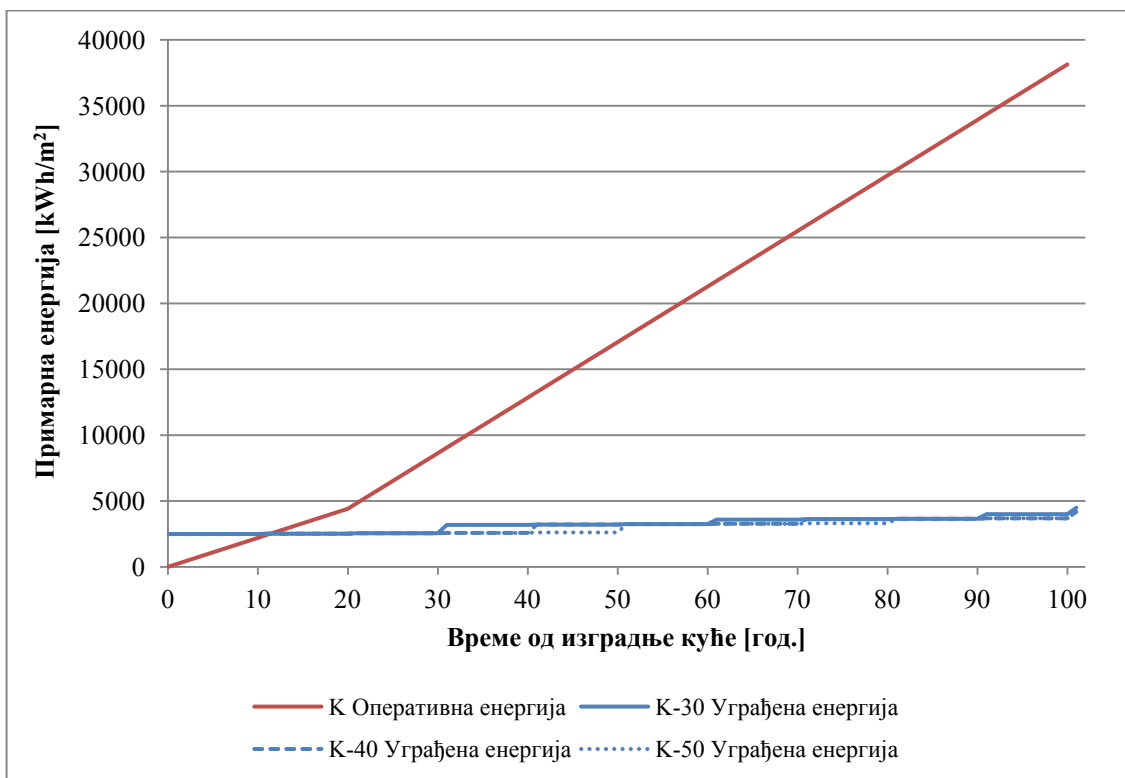
8.1.1. Кућа непромењених енергетских својстава

Ануализована примарна енергија по јединици стамбене површине три подваријанте референтне куће К-30, К-40 и К-50 на које нису примењене мере унапређења енергетских својстава, већ само мере одржавања, приказане су у табели 21.

Табела 21. Ануализована примарна енергија по јединици стамбене површине референтне куће на коју нису примењене мере унапређења енергетских својстава - Варијанта К

Категорија	Поткатегорија	Обухват	Ануализована примарна ен. [kWh/(m ² ·a)]			
			К-30	К-40	К-50	
Уграђена енергија	Иницијална уграђена	Граница система од колевке до капије	23,1	23,1	23,1	
		Транспорт од фабрике до грађевинске локације	1,6	1,6	1,6	
		Уградња материјала	0,2	0,2	0,2	
		Укупно	24,9	24,9	24,9	
	Накнадна уграђена	Граница система од колевке до капије	14,7	11,7	11,7	
		Транспорт од фабрике до грађевинске локације	0,4	0,3	0,3	
		Транспорт од локације до места елиминације	0,1	0,1	0,1	
		Укупно	15,2	12,0	12,0	
	Енергија рушења	Транспорт од локације до места елиминације	0,5	0,5	0,5	
		Укупно	0,5	0,5	0,5	
		Све поткатегорије	Укупно	40,5	37,3	37,3
	Оперативна енергија	Иницијална оперативна	Грејање (систем на дрвну биомасу)	31,4	31,4	31,4
			Хлађење	16,6	16,6	16,6
			Припрема СТВ	37,4	37,4	37,4
			Употреба ел.уређаја	117,7	117,7	117,7
Осветљење			17,7	17,7	17,7	
Укупно			220,8	220,8	220,8	
Грејање (систем на гас)			232,2	232,2	232,2	
Хлађење			16,6	16,6	16,6	
Припрема СТВ			37,4	37,4	37,4	
Употреба ел.уређаја			117,7	117,7	117,7	
Осветљење		17,7	17,7	17,7		
Укупно		421,6	421,6	421,6		
		Све поткатегорије	Укупно	381,4	381,4	381,4
		Енергија животног циклуса		421,9	418,7	418,7

Кумулативна уграђена и оперативна примарна енергија по јединици стамбене површине три подваријанте К-30, К-40 и К-50 референтне куће на коју нису примењене мере унапређења, током претпостављеног животног века куће од 100 година, приказане су у дијаграму 19.



Дијаграм 19. Однос кумулативне примарне уграђене и оперативне енергије по јединици стамбене површине током животног века породичне куће на коју су се 30, 40 и 50 година након изградње почеле примењивати мере одржавања - Варијанта куће К

Дијаграм показује да вредност кумулативне оперативне енергије по јединици стамбене површине за све три подваријанте износи 38144 kWh/m^2 , а вредности кумулативне уграђене енергије за подваријанте К-30, К-40 и К-50 редом износе 4047 , 3728 и 3728 kWh/m^2 након завршетка предвиђеног животног циклуса.

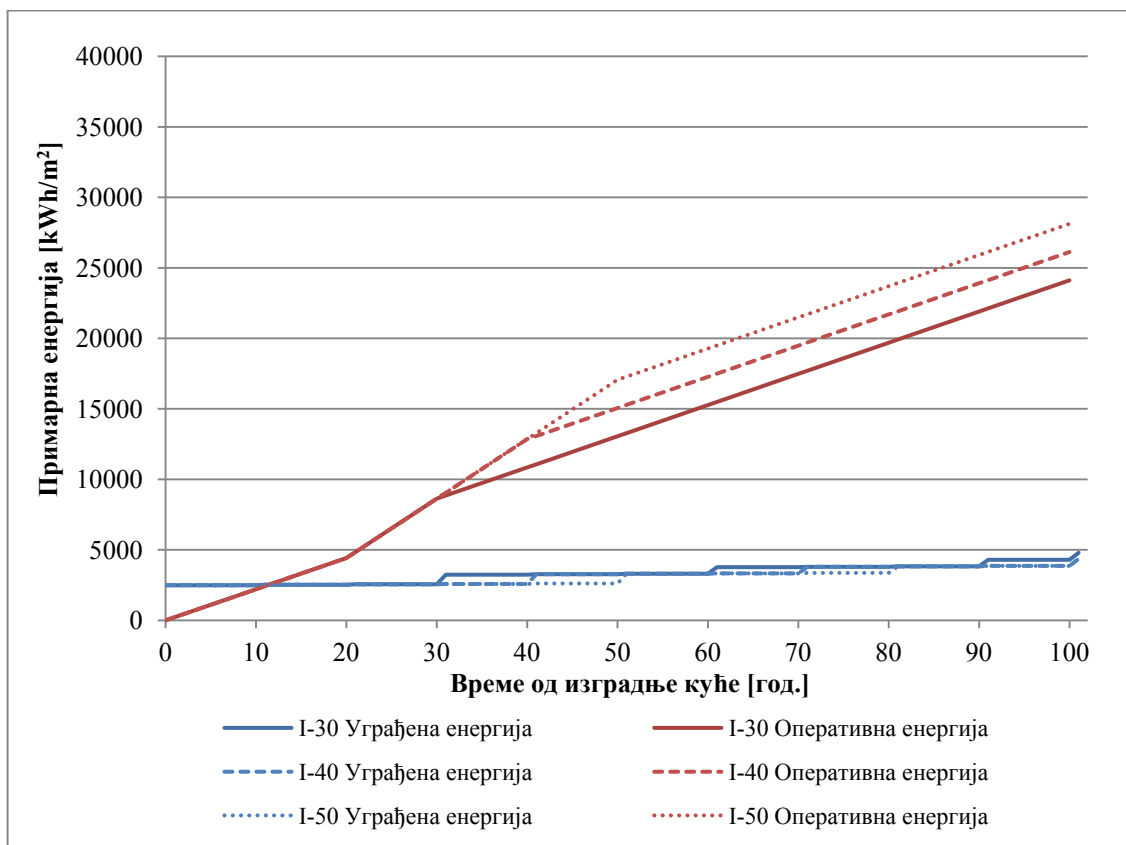
8.1.2. Кућа унапређена ради испуњавања услова националне регулативе

Ануализована примарна енергија по јединици површине три подваријанте референтне куће I-30, I-40 и I-50 на које је примењен први ниво унапређења енергетских својстава ради испуњавања услова о енергетској ефикасности дефинисаних националном регулативом, приказана је у табели 22.

Табела 22. Ануализована примарна енергија по јединици стамбене површине референтне породичне куће на коју су 30, 40 и 50 година након изградње примењене одабране мере првог нивоа унапређења енергетских својстава - Варијанта I

Категорија	Поткатегорија	Обухват	Ануализована примарна ен. [kWh/(m ² ·a)]			
			I-30	I-40	I-50	
Уграђена енергија	Иницијална уграђена	Граница система од колевке до капије	23,1	23,1	23,1	
		Транспорт од фабрике до локације	1,6	1,6	1,6	
		Уградња материјала	0,2	0,2	0,2	
		Укупно	24,9	24,9	24,9	
	Накнадна уграђена	Граница система од колевке до капије	17,5	13,3	13,3	
		Транспорт од фабрике до локације	0,5	0,4	0,4	
		Транспорт од локације до места елиминације	0,1	0,1	0,1	
		Укупно	18,0	13,7	13,7	
	Енергија рушења	Транспорт од локације до места елиминације	0,5	0,5	0,5	
	Све поткат.	Укупно	43,4	39,0	39,0	
	Оперативна енергија	Иницијална оперативна	Грејање (дрвна биомаса)	31,4	31,4	31,4
			Хлађење	16,6	16,6	16,6
			Припрема СТВ	37,4	37,4	37,4
			Употреба ел.уређаја	117,7	117,7	117,7
			Осветљење	17,7	17,7	17,7
Укупно			220,8	220,8	220,8	
Грејање (систем на гас)			232,2	232,2	232,2	
Хлађење			16,6	16,6	16,6	
Припрема СТВ			37,4	37,4	37,4	
Употреба ел.уређаја			117,7	117,7	117,7	
Осветљење		17,7	17,7	17,7		
Укупно		421,6	421,6	421,6		
Накнадна оперативна		Грејање (систем на гас)	107,6	107,6	107,6	
		Хлађење	8,8	8,8	8,8	
		Припрема СТВ	33,8	33,8	33,8	
	Употреба ел.уређаја	69,0	69,0	69,0		
	Осветљење	2,3	2,3	2,3		
Све поткат.	Укупно	241,2	261,2	281,2		
Енергија животног циклуса			284,5	300,2	320,3	

Кумулативна потрошња уграђене и оперативне примарне енергије по јединици стамбене површине подваријанти I-30, I-40 и I-50 референтне куће на коју је примењен први ниво унапређења енергетских својстава, у претпостављеном животном веку куће од 100 година, приказане су у дијаграму 20.



Дијаграм 20. Однос кумулативне примарне уграђене и оперативне енергије по јединици стамбене површине током животног века породичне куће на коју је 30, 40 и 50 година након изградње примењен први ниво унапређења енергетских својстава, утврђен на основу испуњености услова енергетске ефикасности из националне регулативе - Варијанта куће I

Дијаграм показује вредности кумулативне оперативне енергије по јединици стамбене површине за подваријанте I-30, I-40 и I-50 које, након завршетка предвиђеног животног циклуса, редом износе 24116, 26120 и 28124 kWh/m², и вредности кумулативне уграђене енергије које редом износе 4336, 3902 и 3902 kWh/m².

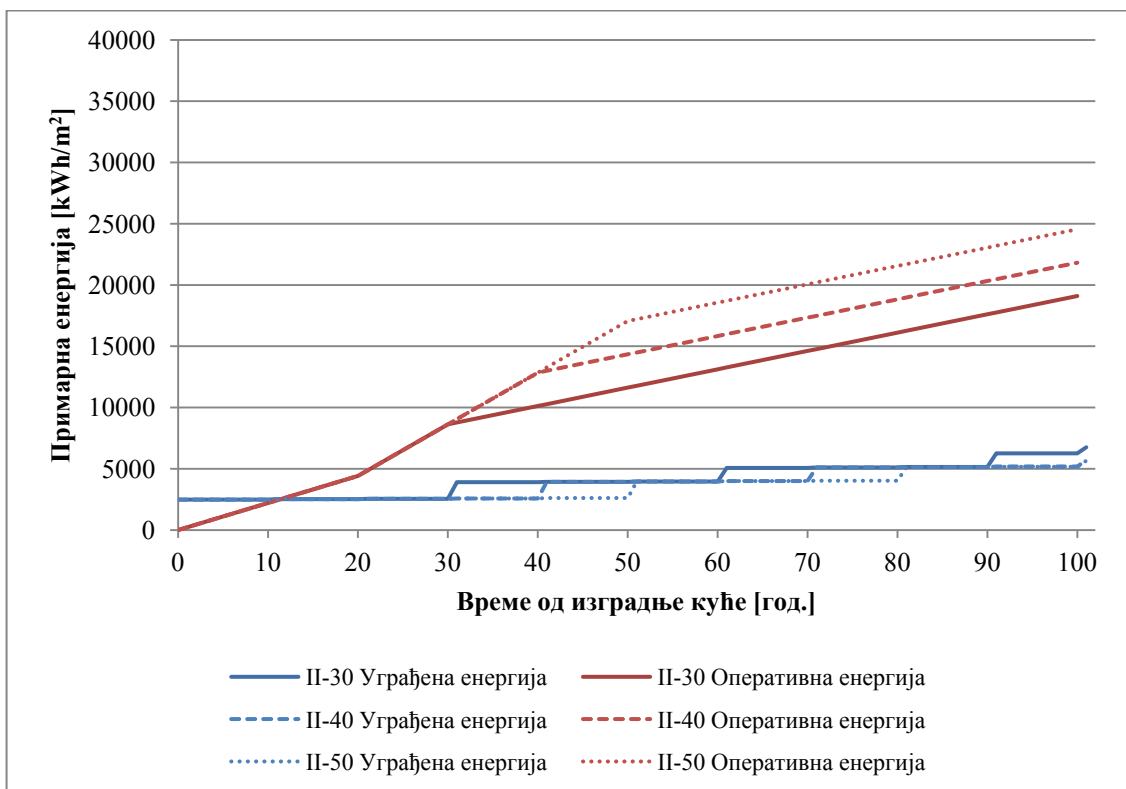
8.1.3. Кућа унапређена ради испуњавања услова стандарда пасивна кућа

Ануализована примарна енергија по јединици површине три подваријанте референтне куће П-30, П-40 и П-50 на које је примењен други ниво унапређења енергетских својстава ради испуњавања услова о енергетској ефикасности дефинисаних стандардом пасивна кућа, приказана је у табели 23.

Табела 23. Ануализована примарна енергија по јединици површине референтне породичне куће на коју нису примењене мере унапређења енергетских својстава - Варијанта II

Категорија	Поткатегорија	Обухват	Ануализована примарна ен.			
			[kWh/(m ² ·a)]			
а			П-30	П-40	П-50	
Уграђена енергија	Иницијална уграђена	Граница система од колевке до капије	23,1	23,1	23,1	
		Транспорт од фабрике до локације	1,6	1,6	1,6	
		Уградња материјала	0,2	0,2	0,2	
		Укупно	24,9	24,9	24,9	
	Накнадна уграђена	Граница система од колевке до капије	36,4	26,0	25,8	
		Транспорт од фабрике до локације	1,2	0,9	0,9	
		Транспорт од локације до места елиминације	0,1	0,1	0,1	
		Укупно	37,7	27,0	26,8	
	Енергија рушења	Транспорт од локације до места елиминације	0,5	0,5	0,5	
	Све поткат.	Укупно	63,1	52,4	52,2	
	Оперативна енергија	Иницијална оперативна	Грејање (дрвна биомаса)	31,4	31,4	31,4
			Хлађење	16,6	16,6	16,6
			Припрема СТВ	37,4	37,4	37,4
			Употреба ел.уређаја	117,7	117,7	117,7
			Осветљење	17,7	17,7	17,7
			Укупно	220,8	220,8	220,8
			Грејање (систем на гас)	232,2	232,2	232,2
			Хлађење	16,6	16,6	16,6
			Припрема СТВ	37,4	37,4	37,4
Употреба ел.уређаја			117,7	117,7	117,7	
Осветљење		17,7	17,7	17,7		
Укупно		421,6	421,6	421,6		
Накнадна оперативна		Грејање (систем на гас)	29,5	29,5	29,5	
		Хлађење	7,5	7,5	7,5	
		Вентилација	7,8	7,8	7,8	
		Припрема СТВ	33,8	33,8	33,8	
		Употреба ел.уређаја	2,3	2,3	2,3	
		Осветљење	69,0	69,0	69,0	
Све поткат.		Укупно	149,6	149,6	149,6	
Енергија животног циклуса			254,1	270,6	297,6	

Кумулативна потрошња уграђене и оперативне примарне енергије по јединици стамбене површине подваријанти П-30, П-40 и П-50 референтне куће на коју је примењен други ниво унапређења енергетских својстава, у претпостављеном животном веку од 100 година, приказане су у дијаграму 21.



Дијаграм 21. Однос кумулативне примарне уграђене и оперативне енергије по јединици стамбене површине током животног века породичне куће на коју је 30, 40 и 50 година након изградње примењен други ниво унапређења енергетских својстава утврђен на основу испуњености услова енергетске ефикасности из стандарда без обавезе примене пасивна кућа- Варијанта куће П

Дијаграм 21 показује вредности кумулативне оперативне енергије по јединици стамбене површине за подваријанте П-30, П-40 и П-50 које, након завршетка предвиђеног животног циклуса, редом износе 19104, 21824 и 24547 kWh/m², и вредности кумулативне уграђене енергије које редом износе 6305, 5235 и 5215 kWh/m².

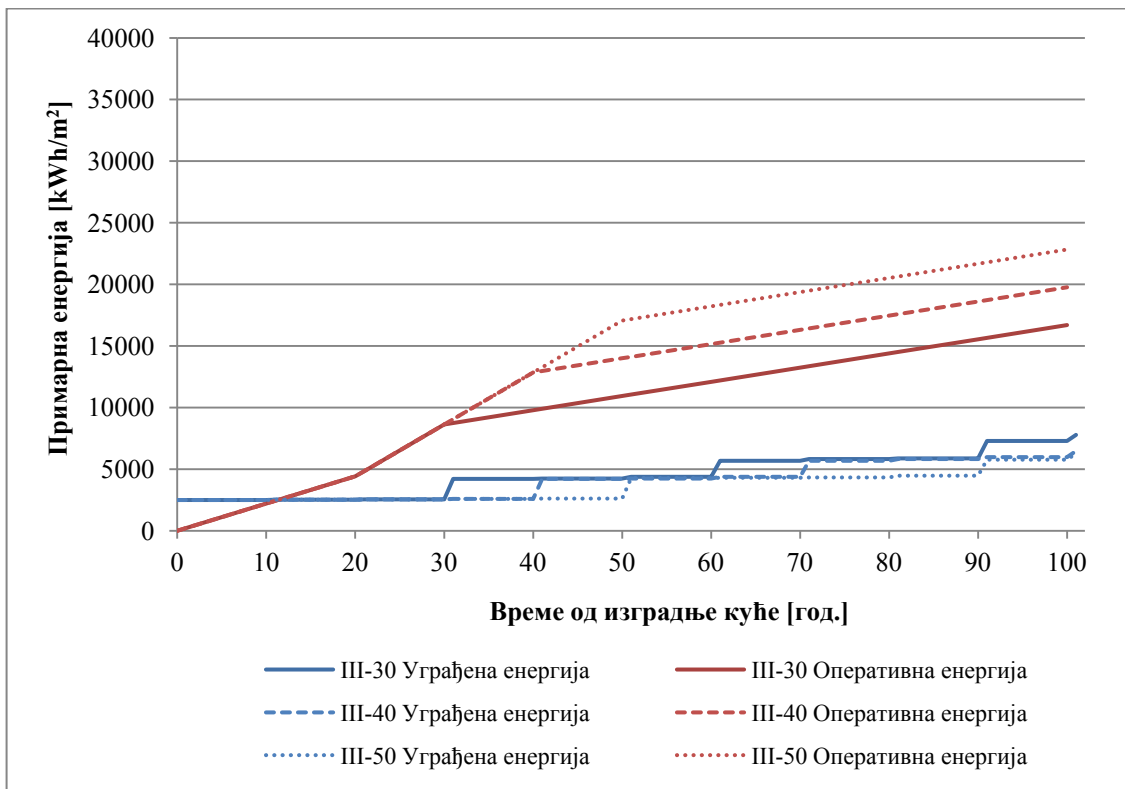
8.1.4. Кућа унапређена ради испуњавања услова европске регулативе

Ануализована примарна енергија по јединици површине три подваријанте референтне куће на које су примењене одабране мере трећег нивоа унапређења ради испуњавања услова о енергетској ефикасности дефинисаних европском регулативом, приказана је у табели 24.

Табела 24. Ануализована примарна енергија по јединици површине референтне породичне куће на коју нису примењене мере унапређења енергетских својстава - Варијанта III

Категорија	Поткатегорија	Обухват	Ануализована примарна ен.			
			[kWh/(m ² ·a)]			
			III-30	III-40	III-50	
Уграђена енергија	Иницијална уграђена	Граница система од колевке до капије	23,1	23,1	23,1	
		Транспорт од фабрике до локације	1,6	1,6	1,6	
		Уградња материјала	0,2	0,2	0,2	
		Укупно	24,9	24,9	24,9	
	Накнадна уграђена	Граница система од колевке до капије	46,4	33,0	32,8	
		Транспорт од фабрике до локације	1,5	1,1	1,1	
		Транспорт од локације до места елиминације	0,1	0,1	0,1	
		Укупно	48,0	34,2	34,0	
	Енергија рушења	Транспорт од локације до места елиминације	0,5	0,5	0,5	
	Све поткат.	Укупно	73,4	59,6	59,4	
	Оперативна енергија	Иницијална оперативна	Грејање (дрвна биомаса)	31,4	31,4	31,4
			Хлађење	16,6	16,6	16,6
			Припрема СТВ	37,4	37,4	37,4
			Употреба ел.уређаја	117,7	117,7	117,7
			Осветљење	17,7	17,7	17,7
Укупно			220,8	220,8	220,8	
Грејање (систем на гас)			232,2	232,2	232,2	
Хлађење			16,6	16,6	16,6	
Припрема СТВ			37,4	37,4	37,4	
Употреба ел.уређаја			117,7	117,7	117,7	
Осветљење		17,7	17,7	17,7		
Укупно		421,6	421,6	421,6		
Накнадна оперативна		Грејање (систем на гас)	26,8	26,8	26,8	
		Хлађење	9,8	9,8	9,8	
		Вентилација	7,8	7,8	7,8	
		Припрема СТВ	33,8	33,8	33,8	
		Употреба ел.уређаја	2,3	2,3	2,3	
		Осветљење	69,0	69,0	69,0	
		Енергија из ОИ	(-) 34,0	(-) 34,0	(-) 34,0	
		Укупно	115,2	115,2	115,2	
	Све поткат.	Укупно	167,0	197,6	228,3	
	Енергија животног циклуса			240,3	257,2	287,6

Кумулативна потрошња уграђене и оперативне примарне енергије по јединици стамбене површине подваријанти III-30, III-40 и III-50 референтне куће на коју су примењене одабране мере трећег нивоа унапређења у претпостављеном животном веку од 100 година, приказане су у дијаграму 22.



Дијаграм 22. Однос кумулативне примарне уграђене и оперативне енергије по јединици стамбене површине током животног века породичне куће на коју је 30, 40 и 50 година након изградње примењен трећи ниво унапређења енергетских својстава утврђен на основу испуњености услова о енергетској ефикасности из европске регулативе - Варијанта куће III

Дијаграм 22 показује вредности кумулативне оперативне енергије по јединици стамбене површине за подваријанте III-30, III-40 и III-50 које, након завршетка предвиђеног животног циклуса, редом износе 16696, 19760 и 22824 kWh/m², и вредности кумулативне уграђене енергије које редом износе 7335, 5955 и 5935 kWh/m².

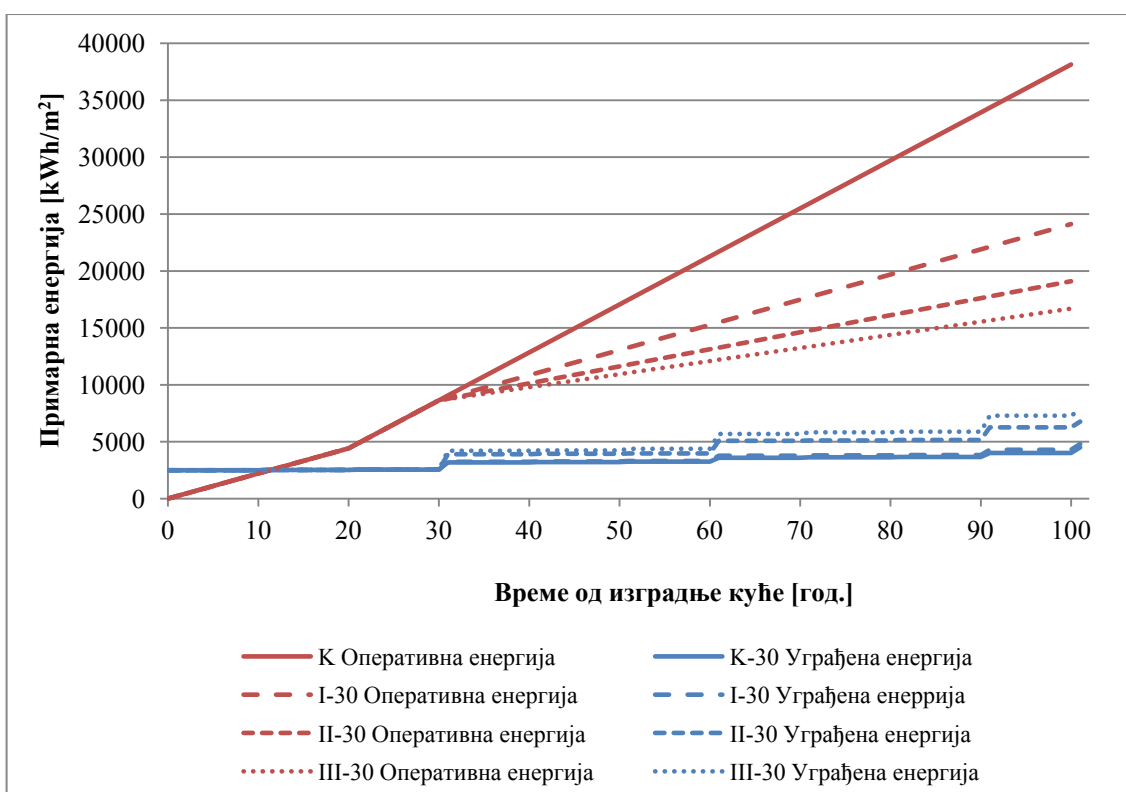
8.2. Уграђена и оперативна енергија са аспекта времена примене унапређења

Резултати примене математичког модела за процену енергије животног циклуса на варијанте типичне породичне куће, приказане су према времену примене мера унапређења у току предвиђеног животног века куће од 100 година. Резултати су изложени графичким приказом кумулативних вредности примарне уграђене и оперативне енергије по јединици стамбене површине породичне куће током предвиђеног животног века куће (дијаграми 23 до 25) и табеларним приказом повећања и уштеда кумулативне уграђене и оперативне енергије по јединици стамбене површине након завршеног животног циклуса куће (табеле 25 до 27).

Повећања и уштеде кумулативне уграђене и оперативне енергије се утврђују компарацијом резултата између одговарајућих подваријанти породичне куће. Поређење резултата се врши између подваријанте куће неизмењених и подваријанте куће унапређених енергетских својстава, које припадају истом временском одређењу почетка одржавања, односно, унапређења енергетских својстава куће. Нпр, повећање накнадне уграђене енергије је једнако разлици кумулативне уграђене енергије куће унапређених енергетских својстава I-30 и куће чија енергетска својства остају непромењена K-30. Уштеде у накнадној оперативној енергији су једнаке разлици између кумулативне оперативне енергије подваријанте куће непромењених енергетских својстава K-30 и куће унапређених енергетских својстава I-30.

8.2.1. Кућа унапређена 30 година након изградње

Кумулативна потрошња уграђене и оперативне примарне енергије по јединици стамбене површине подваријанти референтне породичне куће К-30, I-30, II-30 и III-30 током претпостављеног животног века од 100 година приказане су у дијаграму 23. Породична кућа је изграђена у временском периоду од 1981. до 1990. године и претпоставља се да се одговарајуће мере одржавања или унапређења енергетских својстава почињу примењивати 30 година након изградње куће.



Дијаграм 23. Однос кумулативне примарне уграђене и оперативне енергије по јединици стамбене површине током животног века породичне куће на коју су 30 година након изградње примењене мере одржавања и мере три нивоа унапређења енергетских својстава

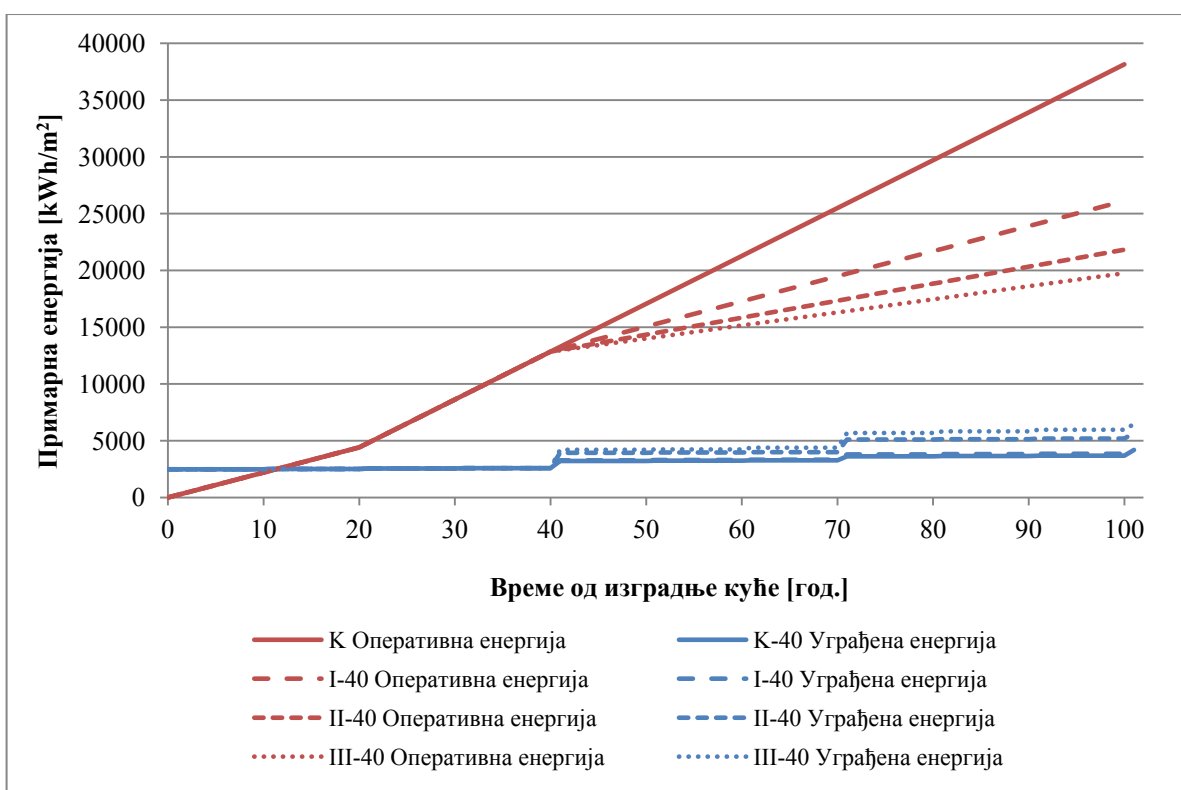
Применом мера унапређења енергетских својстава, повећала се вредност накнадне уграђене енергије и смањила вредност накнадне оперативне енергије током претпостављеног животног циклуса куће. Повећања и уштеде кумулативне енергије на нивоу животног циклуса су израчунате на основу података из дијаграма 23, и сумиране у табели 25.

Табела 25. Однос повећања накнадне уграђене примарне енергије и постигнутих уштеда у накнадној оперативној примарној енергији током целог животног циклуса породичне куће, чија су енергетска својстава унапређена 30 година након изградње

Категорија енергије	Параметар	Кумулативна примарна енергија [kWh/m ²]			
		К-30	І-30	ІІ-30	ІІІ-30
Уграђена енергија	Уграђена енергија	4047	4336	6305	7335
	Повећање накнадне уграђене енергије	-	289	2258	3288
Оперативна енергија	Оперативна енергија	38144	24116	19104	16696
	Уштеде у накнадној оперативној енергији	-	14028	19040	21448
Енергија животног циклуса	Енергија животног циклуса	42191	28452	25409	24031
	Уштеде у енергији животног циклуса	-	13739	16782	18160

8.2.2. Кућа унапређена 40 година након изградње

Кумулативна потрошња уграђене и оперативне примарне енергије по јединици стамбене површине подваријанти референтне породичне куће К-40, I-40, II-40 и III-40 током претпостављеног животног века од 100 година, приказане су у дијаграму 24. Претпоставља се да је породична кућа изграђена у временском периоду од 1971. до 1980. године, и да се одговарајуће мере одржавања или унапређења енергетских својстава почињу примењивати 40 година након изградње куће.



Дијаграм 24. Однос кумулативне примарне уграђене и оперативне енергије по јединици стамбене површине током животног века породичне куће на коју су 40 година након изградње примењене одабране мере одржавања и мере три нивоа унапређења енергетских својстава

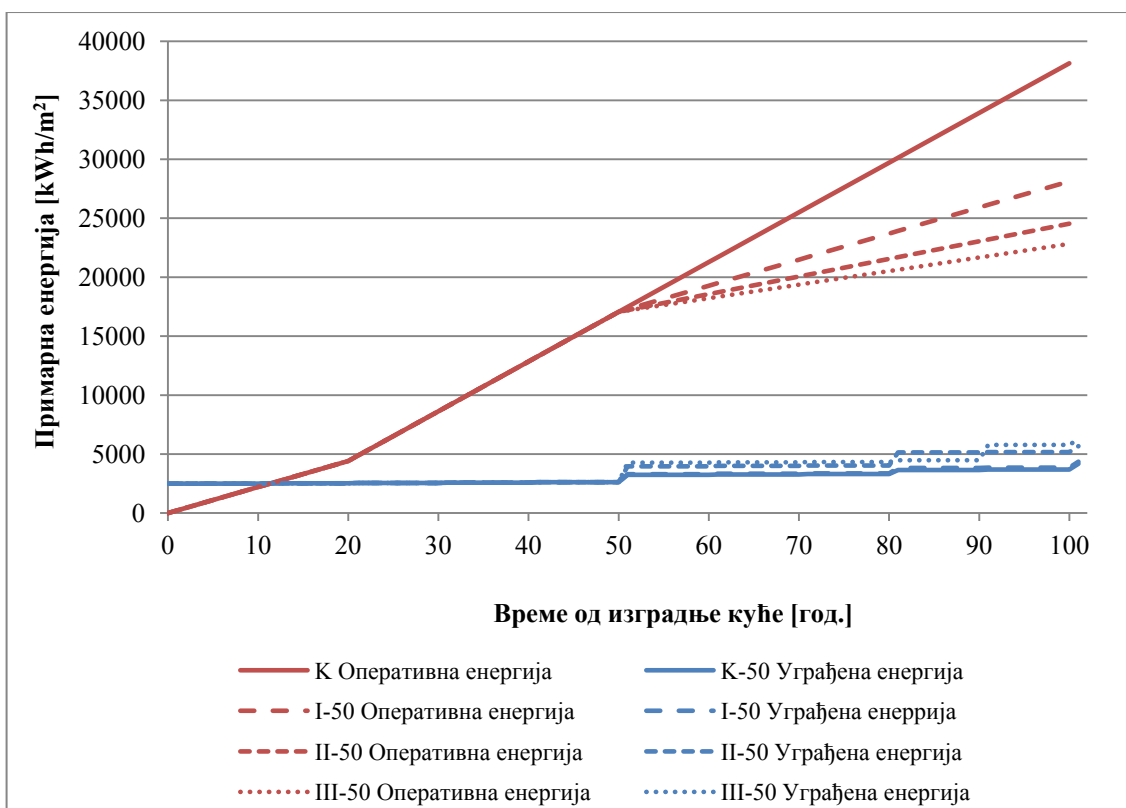
Повећања и уштеде кумулативне енергије подваријанти куће I-40, II-40 и III-40 које су резултат унапређења енергетских својстава, у поређењу са подваријантом куће K-40 непромењених енергетских својстава, израчунате су на основу података из дијаграма 24, и сумиране у табели 26.

Табела 26. Однос повећања накнадно уграђене примарне енергије и постигнутих уштеда у накнадној оперативној примарној енергији током целокупног животног циклуса породичне куће чија су енергетска својстава унапређена 40 година након изградње

Категорија енергије	Параметар	Кумулативна примарна енергија [kWh/m ²]			
		K-40	I-40	II-40	III-40
Уграђена енергија	Уграђена енергија	3728	3902	5235	5955
	Повећање накнадне уграђене енергије	-	174	1507	2227
Оперативна енергија	Оперативна енергија	38144	26120	21824	19760
	Уштеде у накнадној оперативној енергији	-	12024	16320	18384
Енергија животног циклуса	Енергија животног циклуса	41872	30022	27059	25715
	Уштеде у енергији животног циклуса	-	11850	14813	16157

8.2.3. Кућа унапређена 50 година након изградње

Кумулативна потрошња уграђене и оперативне примарне енергије по јединици стамбене површине подваријанти референтне породичне куће К-50, I-50, II-50 и III-50 током претпостављеног животног века од 100 година приказане су у дијаграму 25. Претпоставља се да је породична кућа изграђена у временском периоду од 1961. до 1970. године и да се одговарајуће мере одржавања или унапређења енергетских својстава почињу примењивати 50 година након изградње куће.



Дијаграм 25. Однос кумулативне примарне уграђене и оперативне енергије по јединици стамбене површине током животног века породичне куће на коју су 50 година након изградње примењене мере одржавања и мере три нивоа унапређења енергетских својстава

Повећања и уштеде кумулативне енергије подваријанти куће I-50, II-50 и III-50 које су резултат унапређења енергетских својстава, у поређењу са подваријантом куће K-40 непромењених енергетских својстава, израчунате су на основу података из дијаграма 25, и сумиране у табели 27.

Табела 27. Однос повећања накнадне уграђене примарне енергије и постигнутих уштеда у накнадној оперативној примарној енергији током целокупног животног циклуса породичне куће чија су енергетска својстава унапређена 40 година након изградње

Категорија енергије	Параметар	Кумулативна примарна енергија [kWh/m ²]			
		K-50	I-50	II-50	III-50
Уграђена енергија	Уграђена енергија	3728	3902	5215	5935
	Повећање накнадне уграђене енергије	-	174	1487	2207
Оперативна енергија	Оперативна енергија	38144	28124	24544	22824
	Уштеде у накнадној оперативној енергији	-	10020	13600	15320
Енергија животног циклуса	Енергија животног циклуса	41872	32026	29759	28759
	Уштеде у енергији животног циклуса	-	9846	12113	13113

8.3. Систематизација резултата о уграђеној и оперативној енергији

Табела 28 сумира податке о повећањима уграђене енергије и уштедама оперативне и енергије животног циклуса подваријанти референтне породичне куће на које су примењене мере унапређења енергетских својстава, у поређењу са одговарајућим подваријантама на коју су примењене само мере одржавања. Поређење се врши за подваријанте куће на које су одабране мере примењене у истом временском периоду, нпр. I-30 и K-30, II-40 и K-40 итд. Промене у потрошњи енергије су изражене процентуалним вредностима и ануализованим вредностима примарне енергије по јединици стамбене површине у табели 28.

Табела 28. Повећања уграђене и уштеде оперативне и енергије животног циклуса подваријанти референтне куће унапређених енергетских својстава након завршетка предвиђеног животног циклуса од 100 година

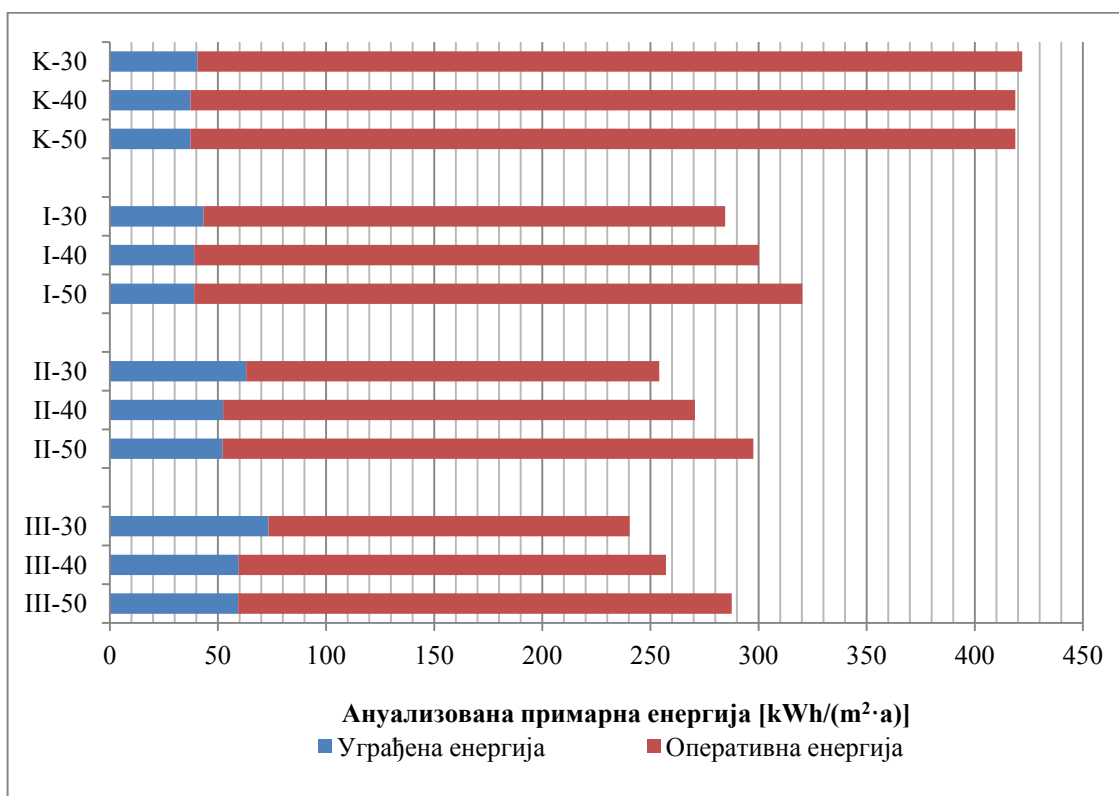
	Повећање уграђене енергије		Уштеде у оперативној енергији		Уштеде у енергији животног циклуса	
	[kWh/(m ² ·a)]	[%] [*]	[kWh/(m ² ·a)]	[%] ^{**}	[kWh/(m ² ·a)]	[%] ^{***}
I-30	2,9	7	140,3	37	137,4	33
I-40	1,7	5	120,2	32	118,5	28
I-50	1,7	5	100,2	26	98,5	24
II-30	22,6	36	190,4	50	167,8	40
II-40	15,1	29	163,2	43	148,1	35
II-50	14,9	29	136,0	36	121,1	29
III-30	32,9	45	214,5	56	181,6	43
III-40	22,3	37	183,8	48	161,6	39
III-50	22,1	37	153,2	40	131,1	31

* у односу на уграђену ануализовану енергију одговарајуће подваријанте породичне куће без унапређења.

** у односу на ануализовану оперативну енергију одговарајуће подваријанте породичне куће без унапређења.

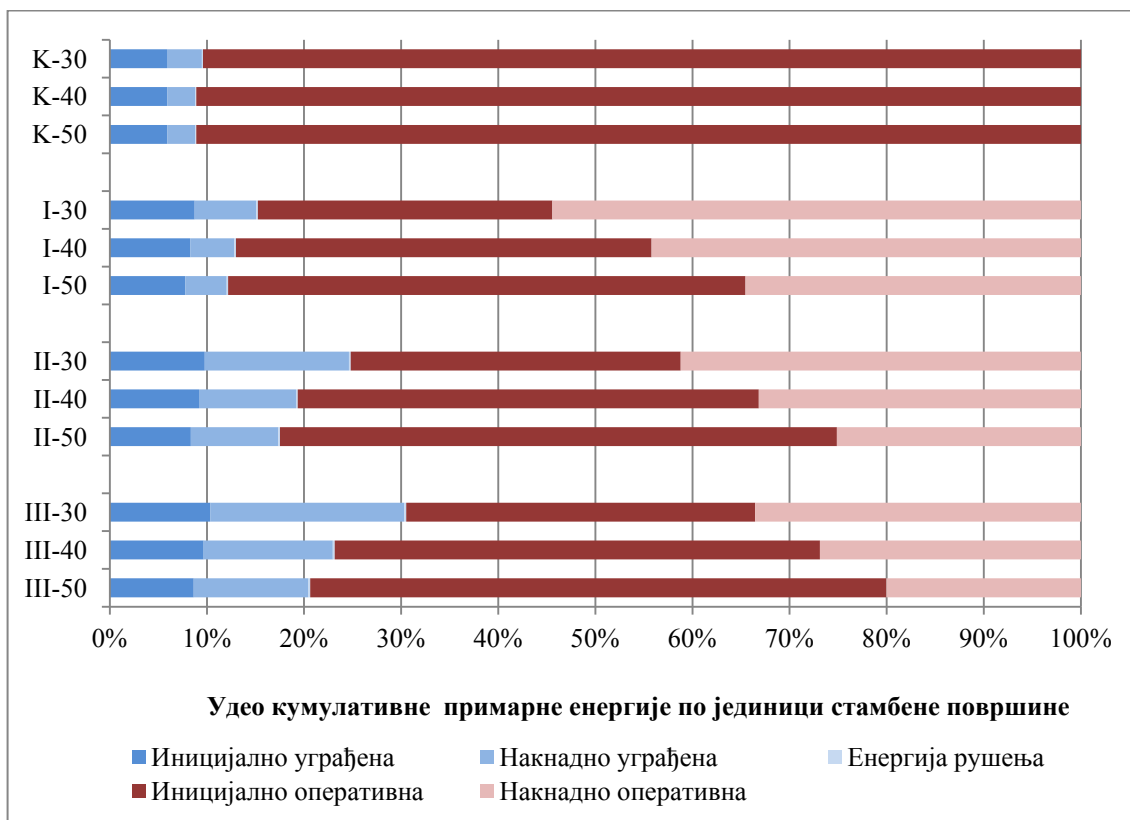
*** у односу на ануализовану енергију животног циклуса одговарајуће подваријанте породичне куће без унапређења.

Промена у односу између уграђене и оперативне енергије након унапређења енергетских својстава референтне куће је илустрована у дијаграму 26. Приказане су ануализоване вредности уграђене и оперативне примарне енергије по јединици стамбене површине на нивоу предвиђеног животног века подваријанти референтне породичне куће.



Дијаграм 26. Однос ануализованих вредности примарне уграђене и оперативне енергије по јединици стамбене површине подваријанти референтне породичне куће у Сомбору

Заступљеност поткатогија уграђене и оперативне енергије пре и након унапређења енергетских својстава куће је илустрована у дијаграму 27. Приказан је процентуални удео енергетских поткатогија након завршека претпостављеног животног циклуса анализираних подваријанти референтне породичне куће.



Дијаграм 27. Процентуални однос кумулативних вредности поткатогија енергије у претпостављеном животног циклусу подваријанти референтне породичне куће у Сомбору

9. ЗАКЉУЧАК

9.1. Закључна разматрања

Научно истраживање је успоставило корелацију између енергије потребне за спровођење мера унапређења енергетских својстава и уштеде у потрошњи оперативне енергије током животног циклуса породичне куће у Сомбору на коју су примењени одабрани нивои унапређења. Циљеви и задаци научног истраживања су испуњени, а општа и посебна хипотеза потврђене.

Образложен је методолошки поступак процене уграђене и оперативне енергије током животног циклуса, који се примењује на типичну породичну кућу у Сомбору, а на коју су примењене мере унапређења енергетских својстава. Утврђени методолошки поступак има следеће карактеристике:

- заснованост на принципима LCA и LCEA методологија,
- холистички приступ процени енергетске потрошње у животном циклусу породичне куће, према фазама, границама система, енергетским категоријама и поткатогијама,
- изражен значај фазе *одржавање и унапређење енергетских својстава* због временског одређења примене методолошког процеса у животном веку породичне куће,
- парцијални модели утврђени према енергетским категоријама и поткатогијама:
 - категорија уграђене енергије структурирана према поткатогијама иницијалне и накнадне уграђене енергије и енергије рушења зграде и
 - извршена диференцијација категорије оперативне енергије на поткатогије иницијалне и накнадне оперативне енергије;
- структура парцијалних математичких модела састављена од математичких једначина, парцијалних инвентара и формираних претпоставки,

- усклађеност са доступним подацима и могућностима процене енергетске потрошње током животног циклуса породичних кућа у Србији. Усклађеност је постигнута уз одређене несигурности проузроковане:
 - преузимањем података из иностраних база о уграђеној енергији током процеса производње и транспорта компоненти зграде,
 - проценама животног века породичне куће и њених компоненти, примењених грађевинских машина и превозних средстава и
 - изузимањем фаза животног циклуса из парцијалних математичких модела оправдано занемаривим вредностима енергетских утрошака; и
 - изражавање резултата у јединицама примарне енергије по јединици стамбене површине породичне куће у облику кумулативних и ануализованих вредности.

Циљ образлагања методолошког поступка за процену уграђене и оперативне енергије је постигнут испуњавањем задатака научног истраживања. Одговарањем на задатке, истакла су се следећа научна сазнања:

- сегмент LCA методологије, инвентар животног циклуса, као и метод анализе процеса и LCEA методологије су идентификовани као теоријска основа са одговарајућим научним поставкама и принципима према којима се формирао методолошки процес,
- потреба за диференцијацијом категорије оперативне енергије на поткатоорије иницијалне и накнадне оперативне енергије је утврђена анализом структуре животног циклуса зграде у којој специфични значај има фаза животног циклуса одржавање и унапређење енергетских својстава зграде,
- промена у квантитативном односу између вредности уграђене и оперативне енергије се уочава за нивое унапређења породичне куће утврђене на основу испуњености одабраних услова о

- енергетској ефикасности из националне и европске регулативе и стандарда без обавезе примене - пасивна кућа,
- методолошки процес је прилагођен условима, доступним подацима и могућностима процене енергије током животног циклуса породичне куће, на следеће начине:
 - конципирањем претпоставки о временском одређењу примењених мера унапређења, предвиђеног животног века породичне куће и њених компоненти; врсти превозних средстава, дистанцама испоруке и маси неких испоручених компоненти зграде; врстама и практичном учинку примењених грађевинских машина,
 - утврђивањем неслагања постојећих математичких модела за процену уграђене енергије према алгебарском облику, броју и врстама варијабли, симболима и мерним јединицама. Примена оних математичких модела и преузимање назива варијабли који одговарају доступним подацима за спровођење процене уграђене енергије у Србији,
 - извршена је компарација ICE и Екоинвент база података у односу на десет критеријума, а закључцима су образложени разлози за одабир Екоинвент базе као адекватног извора улазних података за математички модел. Примарни разлози одабира су обухват мерења енергетске потрошње, методологије прикупљања података, структурирање података, географско одређење и број доступних података, и
 - утврђени су адекватни извори података за компјутерску симулацију потрошње оперативне енергије на основу анализе неких карактеристика потрошње енергије у зградарству у Србији и Војводини и систематизације три групе улазних података за компјутерску симулацију (климатски услови средине, геометријске карактеристике и остала својства зграде).

Одабрана су три специфична нивоа унапређења енергетских својстава типичне породичне куће у Сомбору. Одабир је извршен на следећим поставкама:

- усклађеност одабраних нивоа унапређења са документима који третирају побољшање енергетских својстава зграда у Србији и ЕУ,
- делимична усклађеност одабраних нивоа унапређења са релевантним условима енергетске ефикасности утврђених европском регулативом. Одабрани услови о граничним вредностима потрошње енергије и заступљености енергије из ОИ ради испуњавања стандарда NZEB зграда су усвојени као релевантне граничне вредности за проверу унапређења енергетских својстава постојећих кућа, иако су услови формиран за новоизграђене објекте,
- систем по којем је формирана структура нивоа унапређења енергетских својстава је заснован на комбиновању итерација мера унапређења. Итерације пасивних мера унапређења су утврђене поштравањем максималних дозвољених вредности коефицијената пролаза топлоте за елементе топлотног омотача зграде утврђене националном регулативом до вредности утврђених стандардом без обавезе примене - пасивна кућа; и утврђивањем итерација специфичних за особености референтне породичне куће у Сомбору. Итерације активних мера унапређења су утврђене на основу препорука из литературе о зградама ниске потрошње енергије,
- подаци о енергетској потрошњи свих анализираних нивоа унапређења су компаративно приказани дијаграмима (структура нивоа унапређења се чита из идентификационих ознака) и
- испуњеност или неиспуњеност одабраних услова енергетске ефикасности постојећих и нових зграда дефинисаних у националној и европској регулативи и стандардима зграда ниске потрошње енергије.

Циљ утврђивања три специфична нивоа унапређења енергетских својстава типичне породичне куће у Сомбору је испуњен одговарањем на задатке научног истраживања. Овај процес је истакао следећа научна сазнања:

- енергетска ефикасност у зградарству у Србији је на значајно нижем нивоу у односу на ЕУ, констатовано је детаљном анализом националних и европских докумената (закони, уредбе, правилници, директиве; као и планови, стратегије и други документи),
- регулатива о енергетској ефикасности зграда у Србији није довољно развијена, утврђено је на основу недостатака о условима, граничним вредностима и методологији мерења различитих видова потрошње оперативне енергије (осим енергије за грејање), и непостојања националног пакета за њихов прорачун,
- дефиниције, гранични услови енергетских својстава и најновији концепти зграда ниске потрошње енергије представљају теоријску основу за одабир услова енергетске ефикасности три нивоа унапређења енергетских својстава породичне куће у Србији,
- реалан пример типичне породичне куће у Сомбору служи као студија случаја и референтни модел за компјутерску симулацију потрошње оперативне енергије. Конкретна породична кућа је одабрана на основу анализе доступних података из публикација Републичког завода за статистику, монографија о стамбеном фонду Србије, научним чланцима о стамбеном фонду Сомбора, података Историјског архива и Завода за урбанизам у Сомбору и других извора,
- компаративна анализа резултата компјутерске симулације енергетске потрошње нивоа унапређења је адекватан метод за утврђивање специфичних нивоа унапређења енергетских својстава породичне куће. Компаративна анализа обухвата два корака: први корак пореди резултате компјутерске симулације потрошње енергије за нивое унапређења формиране применом пасивних мера; други корак пореди резултате истих нивоа унаређења, примењујући и активне мере,

- неки одабрани услови енергетске ефикасности су преамбициозни и не могу се испунити анализираним нивоима унапређења енергетских својстава породичне куће:

- услов из стандарда без обавезе примене - пасивна кућа, о максималној дозвољеној укупној примарној енергији израчунаој једначином:

$$Q_P \leq 120 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a}) + (Q_H - 15 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})) \cdot 1,2 \quad (9)$$

где су Q_P максимална дозвољена примарна енергија, а Q_H потребна енергија за грејање зграде; и

- услови из европске регулативе о зградама близу нулте потрошње енергије: 50% заступљеност енергије из ОИ без обавезе обухватања ове вредности енергије у енергетски биланс (Словачка); максималне дозвољене вредности примарне енергије за све видове потрошње енергије у слободностојећој кући од $50 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ која обухвата енергију из ОИ (Естонија), и максималне дозвољене вредности примарне енергије за грејање, припрему СТВ и употребу електричних уређаја у индивидуалним становима од $45 \text{ kWh}/(\text{m}^2 \cdot \text{a})$ која обухвата енергију из ОИ (Белгија, Брисел), и
- концепти зграде нулте енергије животног циклуса и пасивне куће (дефинисане националном регулативом) су такође утврђени као преамбициозни и не могу се испунити одабраним итерацијама мера унапређења енергетских својстава породичне куће.

Доказана је општа хипотезе научног истраживања:

- Утврђен методолошки поступак идентификује однос уграђене и оперативне енергије приликом примене мера унапређења енергетских својстава породичних кућа, а са аспекта потрошње енергије током целог животног циклуса.

Утврђен методолошки процес је примењен на четири варијанте референтне породичне куће, које обухватају варијанту породичне куће постојећих (типичних) енергетских својстава и три варијанте породичне куће на које су примењени референтни нивои унапређења. Резултати о потрошњи примарне енергије су приказани са аспекта унапређења енергетских својстава и са аспекта временског одређења примене мера одржавања и унапређења у животном веку куће. Резултати су приказани:

- табеларним приказом ануализоване енергије по јединици стамбене површине три поткатогије уграђене енергије (ануализована енергија за временски период предвиђеног животног века) и две поткатогије оперативне енергије (ануализована енергија за временски период пре и након поступка унапређења),
- графичким приказом кумулативне уграђене и оперативне енергије по јединици стамбене површине током предвиђеног животног века куће од 100 година,
- табеларним приказом повећања и уштеда кумулативне уграђене и оперативне примарне енергије по јединици стамбене површине након завршетка предвиђеног животног циклуса,
- систематизованим приказом односа уграђене и оперативне енергије свих анализираних подваријанти унапређења референтне куће након завршетка животног циклуса куће, у процентуалном облику и облику ануализоване примарне енергије по јединици стамбене површине.

Резултати показују да је уграђена енергија узрокована поступком унапређења мања од постигнутих уштеда у оперативној енергији и да је енергија животног циклуса свих анализираних подваријанти куће унапређених својстава смањена у односу на енергију животног циклуса куће без унапређења. Закључује се да су вредности примарне уграђене енергије мање од вредности примарне оперативне енергије код свих анализираних подваријанти породичне куће унапређених енергетских својстава. Овим се потврђују појединачне хипотезе научног истраживања:

Постиге се рационалан однос уграђене и оперативне енергије приликом унапређења енергетских својстава типичне породичне куће у Сомбору, изграђене у временском периоду од 1961. до 1990. године. Нивои унапређења су одабрани у односу на испуњеност:

- минималних услова регулативе о енергетској ефикасности зграда у Републици Србији,
- одабраних услова енергетске ефикасности зграда, утврђених необавезним стандардима зграда ниске потрошње енергије и
- одабраних услова енергетске ефикасности зграда у Европској Унији, утврђених дефиницијама зграда близу нулте енергије.

Резултати примене математичког модела за процену енергије животног циклуса на типичну породичну кућу у Сомбору указују на сазнања о распону енергије животног циклуса и односу уграђене и оперативне енергије код конвенционалних и зграда ниске потрошње енергије. Студије случаја енергије животног циклуса стамбених породичних зграда објављене у часописима међународног значаја наводе вредности примарне енергије животног циклуса конвенционалних стамбених зграда у распону од 150 до 400 kWh/(m²·a), а код нискоенергетских зграда до око 200 kWh/(m²·a), и заступљеност оперативне енергије конвенционалних зграда од 80 до 90%, а код нискоенергетских зграда 40 до 60% (погледати поглавље 3). Пошто истраживања ових вредности за стамбене зграде на које је примењен поступак унапређења енергетских својстава нису спроведена, наведени распони се усвајају као референтни за компарацију резултата енергије животног циклуса породичне куће у Србији. Применом утврђеног математичког модела на типичну породичну кућу у Сомбору утврђено је следеће:

- вредности примарне енергије животног циклуса по јединици стамбене површине референтне куће неизмењених енергетских својстава су у распону од 419 до 422 kWh/(m²·a) и превазилазе референтни распон од 150 до 400 kWh/(m²·a). Распон за породичну кућу првог нивоа унапређења износи од 289 до 320 kWh/(m²·a) и

одговара референтном распону за конвенционалне стамбене зграде преузетом из литературе,

- примарна енергија животног циклуса по јединици стамбене површине референтне куће на коју су примењени нивои унапређења утврђени на основу испуњености услова енергетске ефикасности дефинисаних стандардом пасивне куће (варијанта куће II) и NZEB зграде (варијанта куће III), износи у распону од 240 до 298 kWh/(m²·a). Распон превазилази вредности енергије животног циклуса студија случаја нискоенергетских стамбених зграда од око 220 kWh/(m²·a),
- процентуални однос уграђене и оперативне примарне енергије на завршетку животног циклуса куће неизмењених енергетских својстава показује да уграђена енергија има удео од 9 до 10%, а оперативна од 90 до 91%, што превазилази референтни распон од 10 до 20% за уграђену, односно, 80 до 90% за оперативну енергију. Ове вредности за породичну кућу првог нивоа унапређења, која одговара дефиницији конвенционалне зграде, показују заступљеност уграђене енергије од 12 до 15%, односно оперативне од 85 до 88%, што одговара референтном односу уграђене и оперативне примарне енергије за конвенционалне стамбене зграде преузетом из литературе,
- процентуални однос уграђене и оперативне примарне енергије на завршетку животног циклуса референтне куће на коју су примењени нивои унапређења утврђени на основу испуњености услова зграде ниске потрошње енергије и услова европске регулативе, показује да уграђена енергија има удео од 18 до 30%, односно, оперативна од 70 до 82%. Однос не одговара референтним вредностима о заступљености уграђене и заступљености оперативне енергије код студија случаја нискоенергетских зграда у распону од 40 до 60%.

9.2. Будућа истраживања

Правци даљег научног истраживања у области уграђене енергије зграда у Србији треба да су усмерени на:

- формирање националне базе података о уграђеној енергији у грађевинској индустрији, на основу одговарајућих студија и прецизног мерења енергетске потрошње непосредно на местима вађења сировина из природе, у домаћим фабрикама, на грађевинској парцели, на местима елиминације компоненти зграде и током транспорта. Обухват студија треба да буде у оквиру граница система животног циклуса од колевке до капије, појединачних фаза транспорта, уградње, демонтаже и елиминације компоненте зграде,
- студије о референтном и процењеном животном веку зграде и њених компоненти, које примењују метод фактора дефинисан ISO стандардом 15686 на постојеће зграде у Србији,
- студије за систематизацију поступака редовног одржавања зграда које се поред дефинисања типова и начина примене поступака одржавања зграда усредсређују на учесталост примене за различите типове зграда и за различите локалне услове у регионима Србије,
- увођење обавезног истицања додатних информација о грађевинским материјалима, производима и системима у спецификацијама, а од стране произвођача, као нпр. вредност уграђене енергије, заступљеност рециклираног материјала и предвиђени животни век,
- студије о третирању компоненти зграде током и након рушења зграде ради предвиђања могућности рециклаже, сагоревања или одлагања,
- студије о принципима пројектовања са циљем омогућавања употребе демонтираних компоненти у новом животном циклусу друге зграде (граница система од колевке до колевке), а ради

смањења укупне вредности уграђене енергије друге зграде одузимањем вредности енергетске потрошње за производњу истих тих компоненти.

Правци даљег научног истраживања у области оперативне енергије зграда у Србији треба да су усмерени на:

- утврђивање специфичности потрошње оперативне енергије зграда по секторима, са усредсређењем на локалне услове различитих делова Србије,
- мерење потрошње енергије за грејање, хлађење, вентилацију, припрему СТВ, осветљење, употребу електричних уређаја и др. у постојећим зградама,
- студије о начину употребе простора (структура и број станара, време које станари проводе унутар зграде, навике станара и др.),
- третман оперативне енергије у националној регулативи о енергетској ефикасности зграда:
 - формирање националног пакета за прорачун укупне вредности оперативне енергије у зградама на основу које би се вршило издавање енергетских пасоша зграда,
 - дефинисање граничних вредности потрошње укупне оперативне енергије и осталих енергетских својстава зграда које је неопходно испунити ради испуњавања граничних услова енергетских разреда и стандарда зграде ниске потрошње енергије и
 - дефинисање пасивне и NZEB зграде кроз студије граничних услова енергетског перформанса и производње енергије из ОИ за различите типове нових зграда и за могућности унапређења енергетских својстава постојећих зграда.

Након испуњавања наведених примарних праваца развоја у области уграђене и оперативне енергије, истиче се могућност будућих истраживања са циљем:

- увођења докумената којима би национална регулатива промовисала холистички приступ мерењу потрошње енергије животног циклуса зграде тако што би:
 - обухватила стандардизовану методу мерења уграђене енергије, изражене као бројчани показатељ енергетске ефикасности у зградарству,
 - обухватила однос уграђене и оперативне енергије као бројчани показатељ енергетске ефикасности у зградарству и
 - на нивоу целог животног циклуса, утврдила услове за испуњавање енергетских разреда зграде, пасивне куће и NZEB зграде.

- Истраживања проширивања примене модела за процену односа уграђене и оперативне енергије животног циклуса зграда, које треба усмерити на:
 - вишекритеријумску анализу за одабир врста грађевинских компоненти при унапређењу енергетских својстава зграде. За потенцијалне врсте исте компоненте зграде енергетских својстава утврђеном мером унапређења, вишекритеријумска анализа испитује релевантност варијабли из математичких једначина за процену уграђене енергије, са циљем одлучивања о одговарајућој врсти компоненте зграде,
 - интеграцију у компјутерски софтвер за израду пројектне документације, чиме би се омогућила поједностављена процена уграђене и оперативне енергије, не само појединачних зграда, већ и изграђене структуре већих формата, нпр. на блокове и урбане средине. Компјутерски софтвер би захтевао повезивање са одговарајућим софтверима за процену оперативне енергије (пакети

утврђени националном регулативом, софтвери развијени у независним институцијама и др.) и одговарајућим базама података о вредностима уграђене енергије, или би омогућио унос локалних података уграђене енергије за одговарајуће регионе и

- формирање поједностављеног модела, одговарајућег за процес пројектовања зграда, како би се предвидела потрошња енергије животног циклуса више варијанти пројектоване зграде. Анализом резултата примене модела се закључује о енергетској ефикасности могућих пројектантских решења.

Истраживања утврђеног модела за процену односа уграђене и оперативне енергије зграде треба да подстакну научнике из области архитектуре, грађевине, машинства, економије, заштите животне средине и других области да испитају могућности примене методолошког поступка на:

- зграде различитих типова, габарита и функција изграђене у различитим климатским условима,
- различите типове интервенција као што су реконструкција, обнова, адаптација, санација или енергетска санација и
- друге релевантне параметаре као што су економски, еколошки и др.

Литература

- Abanda, F. H., Tah, J. H., Cheung, F. K. (2013). Mathematical modelling of embodied energy, greenhouse gases, time-cost parameters of building projects: A review. *Building and Environment*, 59, 23-37.
- Adalberth, K. (1997). Energy use during the Life Cycle of Buildings: A Method. *Building and Environment*, 32, 317-320.
- Adalberth, K. (1997a). Energy use during the Life Cycle of Single-Unit Dwellings: Examples. *Building and Environment*, 32, 321-329.
- Anagnosti, P., Brčić, V., Cincar-Janković, S., Cvetković, Č., Ćurčić, M., Delić, D., et al. (1965). *Tehničar I. Građevinski Priručnik*. Beograd: Građevinska knjiga.
- Andersen, S., Dinesen, J., Hjort Knudsen, H., Willendrup, A. (1993). *Livscyklus-baseret bygning-projektering. Report no 224*. Hørsholm: Danish Building Research Institute.
- Atanasiu, B., Boermans, T., Hermelink, A., Schimschar, S., Grözinger, J., Offermann, M., et al. (2011). *Principles for nearly zero-energy buildings. Paving the way for effective implementation of policy requirements*. Retrieved July 10, 2015 from Buildings Performance Institute Europe:
http://www.bpie.eu/documents/BPIE/publications/LR_nZEB%20study.pdf
- Atmaca, A., Atmaca, N. (2015). Life cycle energy (LCEA) and carbon dioxide emissions (LCCO2A) assessment of two residential buildings in Gaziantep, Turkey. *Energy and Buildings*.
- Bahr, C., Lennerts, K. (2010). *Lebens- und Nutzungsdauer von Bauteilen*.
- Balaras, C. A., Gaglia, A. G., Georgopoulou, E., Mirasgedis, S., Sarafidis, Y., Lalas, D. P. (2007). European residential buildings and empirical assessment of the Hellenic building stock, energy consumption, emissions and potential energy savings. *Building and Environment*, 42, 1298-1314.
- Beney, J.-F., Attia, S., Andersen, M. (2013). Application of the Cradle to Cradle paradigm to a housing unit in Switzerland: Findings from a prototype design. *PLEA, Sustainable Architecture for a Renewable Future*. Munich, Germany.
- Blengini, G. A., Di Carlo, T. (2010). The changing role of life cycle phases, subsystems and materials in the LCA of low energy buildings. *Energy and Buildings*, 42, 869-880.
- Buildings Performance Institute Europe (2011). *Europe's buildings under the microscope. A country-by-country review of the energy performance of buildings*. Retrieved July 10, 2014, from
http://bpie.eu/wp-content/uploads/2015/10/HR_EU_B_under_microscope_study.pdf

- Cabeza, L. F., Rincón, L., Vilariño, V., Pérez, G., Castell, A. (2014). Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29, 394–416.
- Chan, H. Y., Riffat, S. B., Zhu, J. (2010). Review of passive solar heating and cooling technologies. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 14, 781–789.
- Chang, Y., Ries, R. J., Lei, S. (2012). The embodied energy and emissions of a high-rise education building: A quantification using process-based hybrid life cycle inventory model. *Energy and Buildings*, 55, 790–798.
- Chen, Y., Zhu, Y. (2008). *Analysis of environmental impacts in the construction phase of concrete frame buildings*. China: Department of Construction Management, Tsinghua University.
- Ciambrone, D. F. (1997). *Environmental life cycle analysis*. New York: Lewis, Boca, Raton.
- Citherlet, S., Defaux, T. (2007). Energy and environmental comparison of three variants of family house during its whole life span. *Building and Environment*, 42, 591–598.
- Dadoo, A., Gustavsson, L. (2013). Life cycle primary energy use and carbon footprint of wood-frame conventional and passive houses with biomass-based energy supply. *Applied Energy*, 112, 834-842.
- Dadoo, A., Gustavsson, L., Sathre, R. (2014). Lifecycle primary energy analysis of low-energy timber building systems for multi-storey residential buildings. *Energy and Buildings*, 81, 84–97.
- Dahlstrøm, O., Sørnes, K. S., Eriks, S. T. (2012). Life cycle assessment of a single-family residence built to either conventional- or passive house standard. *Energy and Buildings*, 54, 470-479.
- Ding, G. (2004). *The development of a multi-criteria approach for the measurement of sustainable performance for built projects and facilities*. PhD Thesis. Sydney: University of Technology.
- Dixit, M. K., Fernández-Solís, J. L., Lavy, S., Culp, C. H. (2010). Identification of parameters for embodied energy measurement: A literature review. *Energy and Buildings*, 42, 1238–1247.
- Dixit, M. K., Fernández-Solís, J. L., Lavy, S., Culp, C. H. (2012). Need for an embodied energy measurement protocol for buildings: A review paper. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 3730– 3743.
- Ecoinvent Centre. (2015). Retrieved October 10, 2015 from <https://v31.ecoquery.ecoinvent.org>
- EcoQuery. (2015). Retrieved October 10, 2015 from Ecoinvent Centre: <https://ecoquery.ecoinvent.org/>

- Elswijk, M., Kaan, H. (2015). *European Commission*. Retrieved December 10, 2015, from Promotion of European Passive Houses:
http://ec.europa.eu/energy/intelligent/projects/sites/iee-projects/files/projects/documents/pep_european_embedding_of_passive_houses.pdf
- Erhorn, H., Erhorn-Kluttig, H. (2011). *Terms and definitions for high performance buildings. Detailed report*. Retrieved July 2015, from Concerted action. Energy performance of buildings: http://www.epbd-ca.org/Medias/Pdf/High_Performance_Buildings.pdf
- European Commission. (n.d.). *Buildings*. Retrieved January 10, 2016, from European Commission: <https://ec.europa.eu/energy/en/topics/energy-efficiency/buildings>
- European Commission. (2014b). *Commission delegated regulation (EU) No 574/2014 of 21 February 2014 amending Annex III to Regulation (EU) No 305/2011 of the European Parliament and of the Council on the model to be used for drawing up a declaration of performance on construction products*.
- European Commission. (2011a). *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A Roadmap to a Resource Efficient Europe*.
- European Commission. (2014a). *Communication from the Commission to the European Parliament and the Council. Energy Efficiency and its contribution to energy security and the 2030 Framework for climate and energy policy*.
- European Commission. (2011). *Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions. A Roadmap for Moving to a Competitive Low Carbon Economy in 2050*.
- European Commission. (2010). *Communication from the Commission. Europe 2020. A Strategy for Smart, Sustainable and Inclusive Growth*.
- European Commission. (2013b). *Concerted Action EPBD. Report from Malmo meeting*.
- European Commission. (2015). *European Assessment Documents and European Technical Assessments*.
- European Commission. (2013a). *Implementing the Energy Performance of Building Directive (EPBD). Featuring country reports 2012*.
- European Commission. (2014). *Overview of Member States information on NZEBs. Working version of the progress report - final report*.
- European Commission. (2013). *Report from the Commission to the European Parliament and the Council. Progress by Member States towards Nearly Zero-Energy Buildings*.
- European Council for an Energy Efficient Economy. (2010). *ECEEE policy brief on the Energy Performance Building Directive (2002/91/EC)*

- Favre, D., Citherlet, S. (2008). Eco-Bat: A Design Tool for Assessing Environmental Impacts of Buildings and Equipment. *Building Simulation*, 161, 83-94.
- Favre, D., Citherlet, S. (2009). Evaluation of Environmental Impacts of Buildings with Lesosai 6. *Eleventh International IBPSA Conference*. Glasgow.
- Fay, R., Treloar, G., Iyer-Raniga, U. (2000). Life-cycle energy analysis of buildings: a case study. *Building Research & Information*, 28, 31-41.
- Feist, W., Pfluger, R., Jurgen, S., Kah, O., Kaufmann, B., Krick, B., et al. (2013). *Passive House Planning Package PHPP. Version 8. Energy balance and Passive Design Tool for quality approved Passive Houses and EnerPHit retrofits*. Darmstadt: Passive House Institute.
- Francescato, V., Antonini, E., Bergomi, L. Z. (2009). *Wood Fuels Handbook*. Retrieved September 10, 2015, from AEBIOM European Biomass Association: http://www.aebiom.org/IMG/pdf/WOOD_FUELS_HANDBOOK_BTC_EN.pdf
- Google Maps. (2015). Retrieved October 20, 2015, from <https://maps.google.com/>
- Grant, A., Ries, R., Kibert, C. (2014). Life Cycle Assessment and Service Life Prediction. A Case Study of Building Envelope Materials. *Journal of Industrial Ecology*, 187-200.
- GreenSpec. (2015). *Building Materials Compared*. Retrieved April 2015, from GreenSpec: <http://www.greenspec.co.uk/building-design/materials-compared/>
- Guggemos, A. A. (2003). *Environmental impacts of on-site construction processes: focus on structural frames. PhD Thesis*. US: University of California, Berkeley.
- Hammond, G. P., Jones, C. I. (2008a). Embodied energy and carbon in construction materials. *Proceedings of the ICE - Energy*, (pp. 87-98).
- Hammond, G., Jones, C. (2008). *Inventory of Carbon and Energy (ICE). Version 1.6*. Retrieved 2008, from University of Bath: <http://www.bath.ac.uk/mech-eng/sert/embodied>
- Hammond, G., Jones, C. (2011). *Inventory of Carbon and Energy (ICE). Version 2.0. Summary Tables*. Retrieved 2015 July, from Massachusetts Institute of Technology: <http://web.mit.edu/2.813/www/readings/ICEv2.pdf.old>
- Hernandez, P., Kenny, P. (2011). Development of a methodology for life cycle building energy ratings. *Energy Policy*, 39, 3779-3788.
- Hernandez, P., Kenny, P. (2010). From net energy to zero energy buildings: Defining life cycle zero energy buildings (LC-ZEB). *Energy and Buildings*, 42, 815-821.
- Hernandez, P., Kenny, P. (2008). Life Cycle Energy Performance: Exploring the limits of passive low energy buildings. *Proceedings of the 2008 World Sustainable Building Conference*. Melbourne, Australia: ASN Events.

- Hischier, R., Weidema, B., Althaus, H.-J., Bauer, C., Doka, G., Dones, R., et al. (2010). *Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods. Data v2.2*. Retrieved August 10, 2015, from Ecoinvent Centre:
<http://www.ecoinvent.org/support/documents-and-files/documents-and-files.html>
- Huberman, N., Pearlmutter, D. (2008). A life-cycle energy analysis of building materials in the Negev desert. *Energy and Buildings*, 40, 837-848.
- Intelligent Energy Europe (2012-2014). *Projects Episcopa and Tabula*. Retrieved October 10, 2015, from IEE Projects EPISCOPE and TABULA: www.episcopa.eu/
- Institut za standardizaciju Srbije. (2013). *SRPS EN ISO 10211 Toplotni mostovi u građevinskoj konstrukciji — Toplotni protoci i površinske temperature — Detaljni proračuni*. Beograd: Institut za standardizaciju Srbije.
- Institut za standardizaciju Srbije (2010). *SRPS EN ISO 13790:2010 Energetske performanse zgrada - Proračun energije koja se koristi za grejanje i hlađenje*. Beograd: Institut za standardizaciju Srbije.
- International Organization for Standardization.(2006). *ISO 14040: 2006 - Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework*. Geneva: International Organization for Standardization.
- International Organization for Standardization. (2011). *ISO 15686-1:2011 - Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 1: General principles and framework*. Geneva: International Organization for Standardization.
- International Organization for Standardization. (2011a). *ISO 15686-2:2001 - Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 2: Service life prediction procedures*. Geneva: International Organization for Standardization.
- International Organization for Standardization. (2002). *ISO 15686-3:2002 - Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 3: Performance audits and review*. Geneva: International Organization for Standardization.
- International Organization for Standardization. (2008). *ISO 15686-5:2008 - Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 5: Life cycle costing*. Geneva: International Organization for Standardization.
- International Organization for Standardization. (2004). *ISO 15686-6:2004 - Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 6: Procedures for considering environmental impacts*. Geneva: International Organization for Standardization.
- International Organization for Standardization. (2006). *ISO 15686-7:2006 - Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 7: Performance evaluation for feedback of service life data from practice*. Geneva: International Organization for Standardization.

- International Organization for Standardization. (2008a). *ISO 15686-8:2008 - Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 8: Reference service life and service life estimation*. Geneva: International Organization for Standardization.
- International Organization for Standardization. (2008b). *ISO 15686-9: 2008 - Buildings and constructed assets - Service life planning - Part 9: Guidance on assessment of service life data*. Geneva: International Organization for Standardization.
- Istorijski arhiv Sombor. (1825). Karta Sombora 1825. *Inventarni broj 567*.
- Istorijski arhiv Sombor. (1837). Karta Sombora iz 1837. *Inventarni broj 550*.
- Istorijski arhiv Sombor. (1698). Karta Sombora. Fotografija 1698. (Original: Ratni arhiv. Beč. H III c 108 β). *F.43. Zbirka fotografija. Inventarni broj 1167*.
- Istorijski arhiv Sombor. (1878). ZOMBOR. A zombori róm. kath. egyház tulajdona 1878. *F.3. Zbirka karata (1709-1954). Inventarni broj 802*.
- Jaber, S., Ajib, S. (2011). Thermal and economic windows design for different climate zones. *Energy and Buildings*, pp. 43, 3208–3215.
- Jovanović Popović, M., Slavković, K. (2012). A Methodology to Form Family Housing Typology for the Town of Sombor with Respect of Energy Efficiency Assessment. In V. Mako, V. Lojanica, R. Božović Stamenović, *Housing Development in Serbia in the Context of Globalization and Integrations. Vol 2, Methods and Tendencies* (pp. 243-255). Belgrade: Faculty of Architecture, University of Belgrade.
- Jovanović Popović, M., Slavković, K. (2014). Building Typology of Sombor Family Houses. Classification According to General and Specific Criteria. In V. Mako, V. Lojanica, *Housing Development in Serbia in the Context of Globalization and Integrations. Vol. 3, Strategies and Models* (pp. 147-165). Belgrade: Faculty of Architecture University of Belgrade.
- Karimpour, M., Belusko, M., Xing, K., Bruno, F. (2014). Minimising the life cycle energy of buildings: Review and analysis. *Building and Environment*, 73, 106-114.
- Kosorić, V. (2007). *Aktivni solarni sistemi. Primena u materijalizaciji omotača energetske efikasne zgrade*. Beograd: Građevinska knjiga.
- Krstić Furundžić, A., Kosorić, V. (2009). Improvement of Energy Performances of Existing Buildings in Suburban Settlements. *PLEA International Conference on Passive and Low Energy Architecture* (2.2.23). Quebec: Les Presses de l'Université Laval.
- Krstić Furundžić, A., Kosorić, V., Golić, K. (2012). Potential for reduction of CO2 emissions by integration of solar water heating systems on student dormitories through building refurbishment. *Sustainable Cities and Society*, 50-62.
- Krstić, A. (2003). Naknadno rešavanje problema vezanih za termičku zaštitu i difuziju vodene pare. *Građevinska fizika i materijali* (pp. 121-130). Beograd: Jugoslovensko društvo za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija.

- Krstic-Furundzic, A., Kosoric, V. (2009a). Improvement of energy performances of existing buildings by application of solar thermal systems. *Spatium*, 20, 19-22.
- Kurnitski, J., Buso, T., Corgnati, S. P., Derjanecz, A., Litiu, A. (2014). nZEB definitions in Europe. *Rehva*, 6-9. Retrieved February 10, 2015 from REHVA Federation of European Heating, Ventilation and Air Conditioning Associations: <http://www.rehva.eu/publications-and-resources/hvac-journal/2014/022014/nzeb-definitions-in-europe/>
- Larsson, B. (1983). *Materialförbrukning På Byggarbetsplatsen*. Gothenburg, Sweden: Building Economics and Construction Management, Chalmers University of Technology.
- Laustsen, J. (2008). *Energy efficiency requirements in building codes, energy efficiency policies for new buildings*. Retrieved July 10, 2015, from International Energy Agency: https://www.iea.org/publications/freepublications/publication/Building_Codes.pdf
- Lawrence Berkeley National Laboratory. (2015). *Therm*. Retrieved August 10, 2015, from <https://windows.lbl.gov/software/therm/therm.html>
- Lenzen, M., Treloar, G. (2002). Embodied energy in buildings: wood versus concrete - reply to Borjesson and Gustavsson. *Energy Policy*, 30, 249–255.
- Mapquest. (2015). Retrieved October 2015, from www.mapquest.com/
- Marszal, A. J., Heiselberg, P., Bourrelle, J. S., Musall, E., Voss, K., Sartori, I., et al. (2011). Zero energy buildings - a review of definitions and calculation methodologies. *Energy and Buildings*, 43, 971-979.
- Meteotest. (2015). *Meteonorm*. Retrieved July 10, 2015, from Meteonorm. Irradiation data for every place on Earth: <http://meteonorm.com/en/>
- Miller, A. J. (2001). Embodied energy - a life cycle of transportation energy embodied in construction materials. *COBRA, RICS Foundation*.
- Nässén, J., Holmberg, J., Wadeskog, A., Nyman, M. (2007). Direct and indirect energy use and carbon emissions in the production phase of buildings: An input-output analysis. *Energy*, 32, 1593–1602.
- Nireki, T., Inukai, T., Motahashi, K. (2002). Toward Practical Application of Factor Method for Estimating Service Life of Building. *9DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components*. Brisbane.
- Office fédéral de l'énergie. (2003). *Catalogue des ponts thermiques*. Retrieved August 15, 2015, from Bundesamt für Energie BFE: <http://www.bfe.admin.ch/>
- Ozbay, K., Jawad, D., Parker, N., Hussain, S. (2004). Life-Cycle Cost Analysis: State of the Practice Versus State of the Art. *Transportation Research Method*, 1864, 62-70.
- Pacheco, R., Ordóñez, J., Martínez, G. (2012). Energy efficient design of building: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 16, 3559– 3573.

- Paleari, M., Lavagna, M., Campioli, A. (2013). Life Cycle Assessment and Zero Energy Residential Buildings. *PLEA, Sustainable Architecture for a Renewable Future*. Munich, Germany.
- Passive House Institute. (2015). *Database of Certified Passive House Components*. Retrieved September 17, 2015, from Passive House Institute: <http://www.passiv.de/komponentendatenbank/>
- Passivhaus Institut. (2013). *EnerPHit and EnerPHit +i.Certification Criteria for Energy Retrofits and Passive house Components*. Retrieved September 12, 2015, from Passivhaus Institut: http://passiv.de/downloads/03_certification_criteria_enerphit_en.pdf
- Passivhaus Institut. (2013a). *Certified Passive House Certification. Criteria for residential Passive House buildings*. Retrieved September 12, 2015, from Passivhaus Institut: http://passiv.de/downloads/03_certification_criteria_residential_en.pdf
- Pearce, J. M., Johnson, S. J., Grant, G. B. (2007). 3D-mapping optimization of embodied energy transportation. *Resources, Conservation and Recycling*, 51, 435-453.
- Persson, M.-L., Roos, A., Wall, M. (2006). Influence of window size on the energy balance of low energy houses. *Energy and Buildings*, pp. 38, 181–188.
- Pinky, D. L., Palaniappan, S. (2014). A case study on life cycle energy use of residential building in Southern India. *Energy and Buildings*, 80, 247–259.
- PlanPlus. (2014). Preuzeto 10.10.2015. sa <http://www.planplus.rs/>
- Ramesh, T., Prakash, R., Shukla, K. K. (2010). Life cycle energy analysis of buildings: An overview. *Energy and Buildings*, 42, 1592–1600.
- Re Ceconi, F., Iacono, P. (2005). Enhancing the Factor Method - Suggestions to Avoid Subjectivity. *10DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components*. Lyon.
- Rebitzer, G., Ekvall, T., Frischknecht, R., Hunkeler, D., Norris, G., Rydberg, T., et al. (2004). Review: Life Cycle Assessment. Part 1: Framework, goal and scope definition, inventory analysis and applications. *Environment International*, 30, 701-720.
- REHVA. (2013). *REHVA nZEB technical definition and system boundaries for nearly zero energy buildings, 2013 revision for uniformed national implementation of EPBD recast prepared in cooperation with European standardization organization CEN*. Federation of European Heating, Ventilation and Air-Conditioning Associations.
- Rossi, B., Marique, A.-F., Reiter, S. (2012). Life-cycle assessment of residential buildings in three different European location, case study. *Building and Environment*, 51, 402-407.

- Sadineni, S. B., Madala, S., Boehm, R. F. (2011). Passive building energy savings: A review of building envelope components. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 3617–3631.
- Santero, N. J., Masanet, E., Horvath, A. (2011). Life-cycle assessment of pavements. Part I: Critical review. *Resources, Conservation and Recycling*, 8001-809.
- Sartori, I., Hestnes, A. G. (2007). Energy use in life cycle of conventional and low-energy buildings: A review article. *Energy and Buildings*, 39, 249-257.
- Sartori, I., Napolitano, A., Voss, K. (2012). Net zero energy buildings: A consistent definition framework. *Energy and Buildings*, 48, 220-232.
- Shukla, A., Tiwari, G. N. (2009). Embodied energy analysis of adobe house. *Renewable Energy*, 34, 755-761.
- Sibelga initiative. (2015). *How much energy do my household appliances use?* Retrieved August 27, 2015, from All about energy in Brussels. A Sibelga initiative: <http://www.energuide.be/en/questions-answers/how-much-energy-do-my-household-appliances-use/71>
- Slavković, K., Radivojević, A. (2015). Evaluation of energy embodied in the external wall of single-family buildings in the process of energy performance optimisation. *Energy Efficiency*, 8, 239–253.
- Stevanović, S. (2013). Optimization of passive solar design strategies: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 25, 177–196.
- Straub, A. (2012). Using the factor method to get realistic service lives of applied building components. *Conference proceedings CIB W070, W092 and TG72. Delivering Value to the Community*, (pp. 672-680).
- Swedish Municipal Housing Companies. (1998). *Underhallsnorm*. Stockholm.
- The Council of European Communities. (1989). *Council Directive of 21 December 1988 on the approximation of laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to construction products*.
- The European Parliament and the Council of European Union. (2011). *REGULATION (EU) No 305/2011 OF THE EUROPEAN PARLIAMENT AND OF THE COUNCIL of 9 March 2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC (Text with EEA relevance)*.
- The European Parliament and the Council of the European Union. (2002). *Directive 2002/91/EC of the European Parliament and of the Council of 16 December 2002 on the energy performance of buildings*.
- The European Parliament and the Council of the European Union. (2006). *Directive 2006/32/EC of the European Parliament and of the Council of 5 April 2006 on energy end-use*

efficiency and energy services and repealing Council Directive 93/76/EEC (Text with EEA relevance).

The European Parliament and the Council of the European Union. (2009a). *Directive 2009/125/EC of the European Parliament and the Council of 21 October 2009 establishing a framework for the setting of ecodesign requirements for energy-related products. (recast) (Text with EEA relevance).*

The European Parliament and the Council of the European Union. (2009). *Directive 2009/28/EC of the European Parliament and of the Council of 23 April 2009 on the promotion of the use of energy from renewable sources and amending and subsequently repealing Directives 2001/77/EC and 2003/30/EC (Text with EEA relevance).*

The European Parliament and the Council of the European Union. (2010). *Directive 2010/31/EU of the European Parliament and the Council of 19 May 2010 on energy performance of buildings (recast).*

The European Parliament and the Council of the European Union. (2012). *Directive 2012/27/EU of the European Parliament and the Council of 25 October 2012 on energy efficiency.*

Thormark, C. (2002). A low energy building in a life cycle—its embodied energy, energy need for operation and recycling potential. *Building and Environment*, 37, 429 – 435.

Thormark, C. (2001). *Recycling Potential and Design for Disassembly in Buildings. PhD Thesis*. Lund: Lund Institute of Technology, Lund University.

Tillman, A.-M., Baumann, H., Eriksson, H., Rydberg, T. (1991). *Packaging and the environment - life cycle analyses of selected packaging materials - quantification of environment loadings*. Gothenburg, Sweden: Chalmers Industriteknik, Chalmers Teknikpark.

United Nations (1998). *Kyoto Protocol to the United Nations Framework Convention on Climate Change*.

Vale, B., Vale, R. (2002). *The New Autonomous House: Design and Planning for Sustainability*. Thames Hudson.

VDI. (1997). *Cumulative Energy Demand - Terms, Definitions, Methods of Calculation. In VDI-Richtlinien 4600*. Düsseldorf: Verein Deutscher Ingenieure.

Verbeeck, G. (2007). *Optimisation of extremely low energy buildings. PhD Thesis*. Leuven: Katholieke Universiteit Leuven. Faculteit Ingenieurswetenschappen.

Verbeeck, G., Hens, B. (2010). Life cycle inventory of buildings: A calculation method. *Building and Environment*, 45, 1037–1041.

Voorspools, K. R., Brouwers, E. A., D'haeseleer, W. D. (2000). Energy content and indirect gas emissions embedded in 'emission-free' power plants: results from the Low Countries. *Applied Energy*, 67, 307-330.

- Weidema, B., Bauer, C., Hischer, R., Mutel, C., Nemecek, T., Reinhard, J., et al. (2013). *The ecoinvent database: Overview and methodology. Data quality guideline for the ecoinvent database. Version 3*. Retrieved August 2015, from Ecoinvent Centre: www.ecoinvent.org
- Xing, Y., Hewitt, N., Griffiths, P. (2011). Zero carbon buildings refurbishment—A Hierarchical pathway. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 15, 3229– 3236.
- Yahoo Maps*. (2015). Retrieved October 2015, from <https://maps.yahoo.com/>
- Zavod za urbanizam Sombor. (1984). Generalni urbanistički plan grada Sombora. *Službeni list opštine Sombor 9/84*.
- Zavod za urbanizam Sombor. (1995). Generalni urbanistički plan grada Sombora. *Službeni list opštine Sombor 2/96*.
- Zavod za urbanizam Sombor. (1968). Generalni urbanistički plan grada Sombora. Knjiga 1. *Službeni list opštine Sombor 8/70*.
- Zavod za urbanizam Sombor. (1968a). Generalni urbanistički plan grada Sombora. Knjiga 2. *Službeni list opštine Sombor 8/70*.
- Žegarac Leskovar, V., Premrov, M. (2011). An approach in architectural design of energy-efficient timber buildings with a focus on the optimal glazing size in the south-oriented facade. *Energy and Buildings*, pp. 43, 3410-3418.
- Zöld, A., Szalay, Z. (2007). What is missing from the concept of the new European Building Directive? *Building and Environment*, 42, 1761-1769.
- Влада Републике Србије. (2008). Национална стратегија одрживог развоја. *Службени Гласник РС, бр. 57/2008*.
- Завод за урбанизам Сомбор. (2007). Генерални план града Сомбора 2007-2027. *Службени лист општине Сомбор*.
- Јовановић Поповић, М., Игњатовић, Д., Радивојевић, А., Рајчић, А., Ђукановић, Љ., Ђуковић Игњатовић, Н., et al. (2012). *Атлас породичних кућа Србије*. Београд: Архитектонски факултет Универзитета у Београду; GIZ - Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit.
- Јовановић Поповић, М., Игњатовић, Д., Радивојевић, А., Рајчић, А., Ђукановић, Љ., Ђуковић Игњатовић, Н., et al. (2013). *Национална типологија стамбених зграда Србије*. Београд: Архитектонски факултет Универзитета у Београду; GIZ - Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit.
- Крнић, Б., Радовановић, Д., Стричевић, А., Новковић, Т., Сладић, М., Сузић, Н., et al. (2007). *Студија заштите културно-историјске целине Сомбор. II - Архивска грађа*. Петроварадин: Покрајински завод за заштиту споменика културе.

- Ma, Z., Cooper, P., Daly, D., Ledo, L. (2012). Existing building retrofits: Methodology and state-of-the-art. *Energy and Buildings*, 55, 889–902.
- Министарство грађевинарства, саобраћаја и инфраструктуре. (2014). Закон о изменама и допунама Закона о планирању и изградњи . *Службени Гласник РС бр. 132/2014* .
- Министарство грађевинарства, саобраћаја и инфраструктуре. (2009). Закон о планирању и изградњи. *Службени Гласник РС, бр. 72/2009*.
- Министарство грађевинарства, саобраћаја и инфраструктуре. (2011). Правилник о енергетској ефикасности зграда Републике Србије. *Службени Гласник РС бр. 61/2011*.
- Министарство грађевинарства, саобраћаја и инфраструктуре. (2012). Правилник о условима, садржини и начину издавања сертификата о енергетским својствима зграда Републике Србије. *Службени Гласник РС бр. 69/2012* .
- Министарство рударства и енергетике (2013). Други акциони план за енергетску ефикасност Републике Србије за период од 2013. до 2015. године. *Службени Гласник РС, бр. 98/2013*.
- Министарство рударства и енергетике (2013). Закон о ефикасном коришћењу енергије. *Службени Гласник РС, бр. 25/2013*.
- Министарство рударства и енергетике. (2013а). Национални акциони план за коришћење обновљивих извора енергије у Републици Србији. *Службени Гласник РС, бр. 53/2013*.
- Министарство рударства и енергетике (2015). Нацрт Стратегије развоја енергетике Републике Србије за период до 2025. године са пројекцијама до 2030. године.
- Министарство рударства и енергетике. (2010). Први акциони план енергетске ефикасности Републике Србије за период од 2010. до 2012. године.
- Министарство рударства и енергетике. (2005). Стратегија развоја енергетике Републике Србије до 2015. године. *Службени Гласник РС, бр. 44/2005* .
- Министарство рударства и енергетике (2007). Уредба о утврђивању програма остваривања Стратегије развоја енергетике Републике Србије до 2015. године за период од 2007. до 2012. године. *Службени Гласник РС, бр. 17/2007, 73/2007, 99/2009 и 27/2010*.
- Пушић, Љ. (1987). *Урбанистички развој градова у Војводини у XIX и првој половини XX века*. Нови Сад: Матица Српска.
- Републички завод за статистику. (2014). *Енергетски биланси, 2013*. Београд: Републички завод за статистику.

- Републички завод за статистику. (2013). *Попис становништва, домаћинства и станова 2011. у Републици Србији. Број и површина стамбених јединица. Књига 22.* Београд: Републички завод за статистику.
- Републички завод за статистику. (2013б). *Попис становништва, домаћинства и станова 2011. у Републици Србији. Инсталације и помоћне просторије у становима. Књига 24.* Београд: Републички завод за статистику.
- Републички завод за статистику. (2013а). *Попис становништва, домаћинства и станова 2011. у Републици Србији. Станови за стално становање према броју просторија у стану и површини. Књига 23.* Београд: Републички завод за статистику.
- Републички завод за статистику. (2013г). *Попис становништва, домаћинства и станова 2011. у Републици Србији. Станови према врсти енергента за грејање. Књига 30.* Београд: Републички завод за статистику.
- Републички завод за статистику. (2013в). *Попис становништва, домаћинства и станова 2011. у Републици Србији. Станови према врсти зграде. Књига 27.* Београд: Републички завод за статистику.
- Републички завод за статистику. (2014а). *Снабдевеност домаћинства трајним потрошним добрима.* Преузето 25. 08. 2015. Републички завод за статистику: <http://webrzs.stat.gov.rs/>
- Републички завод за статистику. (2011). *Становништво.* Преузето 25. 08. 2015. Републички завод за статистику: <http://webrzs.stat.gov.rs/WebSite/Public/PageView.aspx?pKey=162>

Попис дијаграма, табела и слика

Дијаграм 1.	Структура животног циклуса зграде.....	6
Дијаграм 2.	Однос уграђене и оперативне енергије у животном циклусу зграде на коју су примењене мере унапређења енергетских својстава	9
Дијаграм 3.	Фазе оцене животног циклуса..... Извор: ISO, 2006	47
Дијаграм 4.	Фазе у животном циклусу зграде.....	52
Дијаграм 5.	Границе система животног циклуса зграде	67
Дијаграм 6.	Категорије и поткатегорије енергије у животном циклусу зграде	69
Дијаграм 7.	Примарна енергија животног циклуса конвенционалних стамбених зграда са усаглашеним мерним јединицама. Извор: Ramesh et al., 2010, p. 1597	73
Дијаграм 8.	Примарна енергија животног циклуса конвенцијалних и зграда ниске потрошње енергије са усаглашеним мерним јединицама. Извор: Sartori, Hestnes, 2007, p. 25	74
Дијаграм 9.	Процентуална заступљеност типова кућа према временском периоду изградње у Сомбору..... Извор: Jovanović Popović, Slavković, 2014	115
Дијаграм 10.	Процентуална заступљеност типова кућа према временском периоду изградње у Србији..... Извор: Jovanović Popović, Slavković, 2014	115
Дијаграм 11.	Видови потрошње годишње финалне енергије по јединици стамбене површине у референтној породичној кући пре унапређења енергетских својстава, утврђене на основу интервјуисања станара и пописа уређаја.	125
Дијаграм 12.	Видови потрошње годишње финалне енергије по јединици стамбене површине у две варијанте референтне породичне куће пре унапређења енергетских својстава, у којима се за грејање користе дрвна биомаса и гас, утврђени на основу компјутерске симулације	127
Дијаграм 13.	Компарација годишње потребне топлоте за грејање по јединици стамбене површине референтне породичне куће неизмењених и унапређених енергетских својстава	144
Дијаграм 14.	Компарација годишње примарне енергије по јединици стамбене површине референтне породичне куће унапређених енергетских својстава	148

- Дијаграм 15.** Процентуална заступљеност годишње финалне енергије према видовима потрошње у породичној кући неизмењених и унапређених енергетских својстава 155
- Дијаграм 16.** Процентуална заступљеност годишње примарне енергије према видовима потрошње у породичној кући неизмењених и унапређених енергетских својстава 155
- Дијаграм 17.** Коригована структура фаза, енергетских поткатегија и граница система у животном циклусу зграде 158
- Дијаграм 18.** Структура модела за процену уграђене и оперативне енергије током животног циклуса зграде на коју се примењује поступак унапређења енергетских својстава 159
- Дијаграм 19.** Однос кумулативне примарне уграђене и оперативне енергије по јединици стамбене површине током животног века породичне куће на коју су се 30, 40 и 50 година након изградње почеле примењивати мере одржавања - Варијанта куће К 175
- Дијаграм 20.** Однос кумулативне примарне уграђене и оперативне енергије по јединици стамбене површине током животног века породичне куће на коју је 30, 40 и 50 година након изградње примењен први ниво унапређења енергетских својстава, утврђен на основу испуњености услова енергетске ефикасности из националне регулативе - Варијанта куће I 177
- Дијаграм 21.** Однос кумулативне примарне уграђене и оперативне енергије по јединици стамбене површине током животног века породичне куће на коју је 30, 40 и 50 година након изградње примењен други ниво унапређења енергетских својстава утврђен на основу испуњености услова енергетске ефикасности из стандарда без обавезе примене пасивна кућа- Варијанта куће II 179
- Дијаграм 22.** Однос кумулативне примарне уграђене и оперативне енергије по јединици стамбене површине током животног века породичне куће на коју је 30, 40 и 50 година након изградње примењен трећи ниво унапређења енергетских својстава утврђен на основу испуњености услова о енергетској ефикасности из европске регулативе - Варијанта куће III.... 181
- Дијаграм 23.** Однос кумулативне примарне уграђене и оперативне енергије по јединици стамбене површине током животног века породичне куће на коју су 30 година након изградње примењене мере одржавања и мере три нивоа унапређења енергетских својстава 183

Дијаграм 24.	Однос кумулативне примарне уграђене и оперативне енергије по јединици стамбене површине током животног века породичне куће на коју су 40 година након изградње примењене одабране мере одржавања и мере три нивоа унапређења енергетских својстава	185
Дијаграм 25.	Однос кумулативне примарне уграђене и оперативне енергије по јединици стамбене површине током животног века породичне куће на коју су 50 година након изградње примењене мере одржавања и мере три нивоа унапређења енергетских својстава	187
Дијаграм 26.	Однос ануализованих вредности примарне уграђене и оперативне енергије по јединици стамбене површине подваријанти референтне породичне куће у Сомбору	190
Дијаграм 27.	Процентуални однос кумулативних вредности поткатегорија енергије у претпостављеном животном циклусу подваријанти референтне породичне куће у Сомбору	191
Табела 1.	Преглед NZEB дефиниција стамбених зграда у ЕУ	42
	Извор: Kurnitski et al., 2014	
Табела 2.	Компаративни приказ података приказаних у профилима грађевинских производа ICE и Екоинвент база података	78
Табела 3.	Систематизација и анализа математичких модела преузетих из литературе	87
Табела 4.	Претпостављени животни век неких грађевинских материјала, производа и система	95
Табела 5.	Усвојене варијабле математичког модела за процену уграђене енергије у животном циклусу постојеће куће.....	101
Табела 6.	Број изграђених породичних кућа у Сомбору и Србији према односу са суседном зградом и временском периоду изградње.....	114
	Извор: Jovanović Popović, Slavković, 2014	
Табела 7.	Енергетска својства типичне породичне куће у Сомбору.....	116
	На основу извора: Jovanović Popović, Slavković, 2014	
Табела 8.	Преглед примера слободностојећих породичних кућа у Сомбору	118
	Примери су изабрани на основу: Jovanović Popović, Slavković 2014, 2012	
Табела 9.	Материјализација и коефицијент пролаза топлоте нетранспарентних елемената топлотног омотача породичне куће	123

Табела 10.	Материјализација нетранспарентних елемената топлотног омотача референтне породичне куће након унапређења енергетских својстава... 135
Табела 11.	Врсте и дебљине термоизолације за мере унапређења нетранспарентних елемената топлотног омотача 136
Табела 12.	Коефицијенти пролаза топлоте за мере унапређења нетранспарентних елемената омотача..... 136
Табела 13.	Мере унапређења транспарентних елемената топлотног омотача..... 137
Табела 14.	Мера унапређења применом активног система за смањење топлотних губитака..... 140
Табела 15.	Активне мере унапређења енергетских својстава референтне породичне куће..... 140
Табела 16.	Енергија произведена активним соларним системима примењеним на референтну породичну кућу 150
Табела 17.	Компарација примарне енергије и удела енергије произведене фотонапонским системом са ћелијама од монокристалног силицијума у укупној финалној енергији након унапређења референтне куће 151
Табела 18.	Енергетска својства варијанти референтне куће на које се примењује модел за процену ен. животног циклуса 154
Табела 19.	Годишња финална енергија по јединици стамбене површине и уштеде постигнуте применом три нивоа унапређења енергетских својстава куће 156
Табела 20.	Годишња примарна енергија по јединици стамбене површине и уштеде постигнуте применом три нивоа унапређења енергетских својстава куће 156
Табела 21.	Ануализована примарна енергија по јединици стамбене површине референтне куће на коју нису примењене мере унапређења енергетских својстава - Варијанта К..... 174
Табела 22.	Ануализована примарна енергија по јединици стамбене површине референтне породичне куће на коју су 30, 40 и 50 година након изградње примењене одабране мере првог нивоа унапређења енергетских својстава - Варијанта I 176
Табела 23.	Ануализована примарна енергија по јединици површине референтне породичне куће на коју нису примењене мере унапређења енергетских својстава - Варијанта II..... 178

Табела 24.	Ануализована примарна енергија по јединици површине референтне породичне куће на коју нису примењене мере унапређења енергетских својстава - Варијанта III.....	180
Табела 25.	Однос повећања накнадне уграђене примарне енергије и постигнутих уштеда у накнадној оперативној примарној енергији током целог животног циклуса породичне куће, чија су енергетска својстава унапређена 30 година након изградње.....	184
Табела 26.	Однос повећања накнадно уграђене примарне енергије и постигнутих уштеда у накнадној оперативној примарној енергији током целокупног животног циклуса породичне куће чија су енергетска својстава унапређена 40 година након изградње	186
Табела 27.	Однос повећања накнадно уграђене примарне енергије и постигнутих уштеда у накнадној оперативној примарној енергији током целокупног животног циклуса породичне куће чија су енергетска својстава унапређена 40 година након изградње	188
Табела 28.	Повећања уграђене и уштеде оперативне и енергије животног циклуса подваријанти референтне куће унапређених енергетских својстава након завршетка предвиђеног животног циклуса од 100 година	189
Табела 29.	Услови топлотног комфора за стамбене зграде са једним станом	223
	Извор: МГСИ, 2011, прилог 6, табела 6.5	
Табела 30.	Највеће дозвољене вредности коефицијента пролаза топлоте за елементе топлотног омотача постојеће зграде	223
	Извор: МГСИ, 2011, табела 3.4.1.3	
Табела 31.	Фактори за претварање финалне у примарну енергију за врсте извора топлоте	224
	Извор: МГСИ, 2011, прилог 6, табела 6.12	
Табела 32.	Енергетски разреди за постојеће стамбене зграде са једним станом	224
	Извор: МГСИ, 2012, прилог, табела 1.1	
Табела 33.	Граничне дозвољене вредности за неке компоненте пасивне куће и стицање сертификата <i>EnerPHit</i>	224
	На основу извора (PI, 2013).....	224
Табела 34.	Извори примарне енергије, обухваћени CED методом у Екоинвент бази.....	225
	Извор: Hischer et al., 2010, p. 34	225
Табела 35.	Потрошња електричне енергије у референтној породичној кући пре унапређења енергетских својстава, очитана са месечних рачуна за електричну енергију Електропривреде Србије	225

Табела 36.	Потрошња топлоте у референтној породичној кући пре унапређења енергетских својстава, утврђена на основу интервјуисања станара 225 Израчунато на основу извора (Francescato et al., 2009) 225
Табела 37.	Потрошња електричне енергије у референтној породичној кући пре унапређења енергетских својстава, утврђена на основу интервјуисања станара и пописа уређаја у домаћинству 226
Табела 38.	Потрошња електричне енергије у помоћним објектима на парцели референтне породичне куће утврђена на основу интервјуисања станара и пописа уређаја у домаћинству 227
Табела 39.	Финална и примарна енергија по видовима потрошње у референтној породичној кући пре унапређења енергетских својстава, утврђене на основу интервјуисања станара и пописа уређаја..... 227
Табела 40.	Финална и примарна енергија по видовима потрошње у референтној породичној кући пре примене мера унапређења, у којој се користи <i>дрвна биомаса</i> као енергент за грејање, утврђене на основу компјутерске симулације потрошње енергије 228
Табела 41.	Финална и примарна енергија по видовима потрошње у референтној породичној кући пре примене мера унапређења, у којој се користи <i>гас</i> као енергент за грејање, утврђене на основу компјутерске симулације потрошње енергије..... 228
Табела 42.	Величина, положај и засенчење топлотног пријемника сунчеве енергије и фотонапонског система на крову референтне породичне куће 229
Табела 43.	Финална и примарна енергија за припрему СТВ, употребу електричних уређаја и осветљење у референтној породичној кући пре и након унапређења енергетских својстава 229
Табела 44.	Потребна, финална и примарна енергија (значајне појединачне и укупне вредности) у референтној породичној кући пре и након унапређења енергетских својстава 230
Табела 45.	Потрошња електричне енергије за употребу електричних уређаја, припрему СТВ и осветљење у референтној породичној кући, након унапређења енергетских својстава 232
Табела 46.	Вредности потребне енергије за грејање, укупне примарне и максималне дозвољене примарне енергије за нивое унапређења референтне куће, утврђене стандардом без обавезе примене пасивна кућа..... 233
Табела 47.	Укупна примарна енергија и удео енергије произведене топлотним пријемницима сунчевог зрачења у финалној енергији након унапређења енергетских својстава референтне породичне куће..... 234

Табела 48.	Укупна примарна енергија и удео енергије произведене фотонапонским панелима у финалној енергији након унапређења енергетских својстава референтне породичне куће	235
Табела 49.	Парцијални инвентар иницијалне уграђене енергије грађевинских материјала, производа и система, граница система од колевке до капије	236
Табела 50.	Парцијални инвентар за иницијалну уграђену енергију у транспорт грађевинских материјала, производа и система од фабрике до грађевинске локације	238
Табела 51.	Парцијални инвентар за иницијалну уграђену енергију у изградњу и уградњу грађевинског материјала, производа и система у зграду	240
Табела 52.	Редукциони коефицијенти за примену грађевинских машина	241
Табела 53.	Парцијални инвентар иницијалну оперативне енергије зграде	242
Табела 54.	Парцијални инвентар накнадне уграђене енергије компоненти зграде за границу система од колевке до капије	243
Табела 55.	Парцијални модел инвентара накнадна уграђене енергије у транспорт компоненти од фабрике до грађевинске локације	245
Табела 56.	Парцијални модел инвентара накнадне уграђене енергије у транспорт од грађевинске локације до места елиминације	247
Табела 57.	Парцијални модел инвентара накнадне оперативне енергије	249
Табела 58.	Парцијални модел инвентара уграђене енергије рушења у транспорт компоненти зграде од локације до места елиминације	250
Слика 1.	Шема типичне породичне куће у Сомбору	117
Слика 2.	Основа приземља референтне породичне куће у Сомбору	121
Слика 3.	Основа првог спрата референтне породичне куће у Сомбору	121
Слика 4.	Пресек АА' референтне породичне куће у Сомбору	122
Слика 5.	Фотографија референтне породичне куће у Сомбору	122
Слика 6.	Мера унапређења односа површина транспарентних и нетранспарентних елемената на јужно оријентисаном спољашњем зиду куће	138

Прилози

Прилог А. Подаци из националне регулативе о енергетској ефикасности зграда

Табела 29. Услови топлотног комфора за стамбене зграде са једним станом

Параметар	Вредност	Мерна јединица
Унутрашња пројектна температура за зимски период	20,0	°C
Унутрашња пројектна температура за летњи период	26,0	°C
Површина по особи (заузетост)	60,0	m ² /особа
Одавање топлоте по особи	70,0	W/особа
Одавање топлоте људи по јединици површине	1,2	W/m ²
Присутност током дана (просечна месечна)	12,0	h/дан
Годишња потрошња електричне енергије по јединици површине грејаног простора	20,0	kWh/m ²
Проток свежег ваздуха по јединици површине грејаног простора	0,7	m ³ /(h·m ²)
Проток свежег ваздуха по особи	42,0	m ³ /(h·особа)
Топлота потребна за припрему СТВ по јединици површине грејаног простора	10,0	kWh/m ²

Извор: МГСИ, 2011, прилог 6, табела 6.5

Табела 30. Највеће дозвољене вредности коефицијента пролаза топлоте за елементе топлотног омотача постојеће зграде

Опис	Елемент топлотног омотача зграде	U_{max} [W/(m ² ·K)]
Елементи и системи у контакту са спољашњим ваздухом	Спољашњи зид	0,40
	Зид на дилатацији (између зграда)	0,50
	Зидови и међуспратне конструкције између грејаних просторија различитих јединица, корисника или власника	0,90
	Раван кров изнад грејаног простора	0,20
	Раван кров изнад негрејаног простора	0,40
	Коси кров изнад грејаног простора	0,20
	Коси кров изнад негрејаног простора	0,40
	Међуспратна конструкција изнад отвореног пролаза	0,30
	Прозори, балконска врата грејаних просторија и зимске баште	1,50
	Стаклени кровови, осим зимске баште и светлосне куполе	1,50
	Спољашња врата	1,60
	Излози	1,80
	Стаклене призме	1,60
Унутрашње преградне конструкције	Зид према грејаном степеништу	0,90
	Зид према негрејаним просторима	0,55
	Међуспратна конструкција испод негрејаног простора	0,40
	Међуспратна конструкција изнад негрејаног простора	0,40
Укопане или делимично укопане конструкције у тлу	Зид у тлу	0,50
	Под на тлу	0,40
	Укопана међуспратна конструкција	0,50

Извор: МГСИ, 2011, табела 3.4.1.3

Табела 31. Фактори за претварање финалне у примарну енергију за врсте извора топлоте

Енергент	Фактор претварања
Уље на ложење	1,2
Гас	1,1
Угаљ	1,3
Дрвена биомаса	0,1
Електрична енергија	2,5
Даљинско грејање на фосилна горива	1,8
Даљинско грејање когенерацијом	1,0

Извор: МГСИ, 2011, прилог 6, табела 6.12

Табела 32. Енергетски разреди за постојеће стамбене зграде са једним станом

Енергетски разред	Релативна енергетска потрошња финалне енергије за грејање $Q_{H,nd,rel}$ [%]	Специфична годишња потребна топлота за грејање $Q_{H,nd}$ [kWh/(m ² ·a)]
A+	≤ 15	≤ 12
A	≤ 25	≤ 20
B	≤ 50	≤ 38
C	≤ 100	≤ 75
D	≤ 150	≤ 113
E	≤ 200	≤ 150
F	≤ 250	≤ 188
G	> 250	> 188

Извор: МГСИ, 2012, прилог, табела 1.1

Прилог Б. Подаци о стандарду без обавезе примене - пасивна кућа**Табела 33.** Граничне дозвољене вредности за неке компоненте пасивне куће и стицање сертификата *EnerPHit*

Компонента пасивне куће	Гранични услови
Нетранспарентни елементи топлотног омотача:	
Елементи омотача са спољашњом изолацијом	$f_t \cdot U \leq 0,15 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Елементи омотача са унутрашњом изолацијом	$f_t \cdot U \leq 0,35 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
f_t је температурни фактор који за елемент у контакту са спољашњим ваздухом износи $f_t = 1$, а за елемент у контакту са тлом f_t се преузима из РНРР програма	
Прозори:	
Укупан прозор	$U \leq 0,85 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
Стакло	$g \cdot 1,6 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K}) \geq U_g$
Спољашња врата	$f_t \cdot U \leq 0,80 \text{ W}/(\text{m}^2 \cdot \text{K})$
f_t је температурни фактор, за елемент у контакту са спољашњим ваздухом $f_t = 1$; за елемент у контакту са негрејаним подрумом f_t се преузима из РНРР програма	
Вентилациони систем	
Систем са рекуператором топлоте	$\eta \geq 75 \%$ $Q \leq 0,45 \text{ Wh}/\text{m}^3$
Број измена ваздуха инфилтрацијом	$n \leq 1,0 \text{ h}^{-1}$ при разлици притисака од 50 Pa

За изузетке и додатне описе компоненти и услова за сертификацију погледати: РН1, 2015, РИ 2013

На основу извора (РИ, 2013)

Прилог В. Подаци о бази података Екоинвент

Табела 34. Извори примарне енергије, обухваћени CED методом у Екоинвент бази

	Поткатегија	Обухват
Необновљиви ресурси	Фосилни	Угаљ, лигнит, сирова нафта, природни гас, отпадни гас током вађења угља, тресет
	Нуклеарни	Уранијум
	Шуме, примарни	Дрво и биомаса од шума
Обновљиви ресурси	Биомаса	Дрво, прехранбени производи, пољопривредна биомаса, нпр. слама
	Ветар	Енергија ветра
	Соларни	Соларна енергија (за топлоту и електричну енергију)
	Геотермални	Геотермална енергија (плитка: 100-300 m)
	Вода	Хидро енергија речних токова и језера

Извор: Nischier et al., 2010, p. 34

Прилог Г. Оперативна енергија пре унапређења куће

Табела 35. Потрошња електричне енергије у референтној породичној кући пре унапређења енергетских својстава, очитана са месечних рачуна за електричну енергију Електропривреде Србије

Обрачунски период	Електрична енергија [kWh]
Јануар	1076
Фебруар	1224
Март	1261
Април	1293
Мај	983
Јун	973
Јул	1002
Август	1056
Септембар	1177
Октобар	1150
Новембар	1262
Децембар	1333
Укупно	13790

Табела 36. Потрошња топлоте у референтној породичној кући пре унапређења енергетских својстава, утврђена на основу интервјуисања станара

Врста дрвне биомасе	Количина [m ³ /a]	Маса целаница [kg/m ³]	Калоријска вредност [kWh/kg]	Финална енергија [kWh/a]	Финална енергија [kWh/(m ² ·a)]
Буква	10	445	4,25	18912,50	134,77

Израчунато на основу извора (Francescato et al., 2009)

Табела 37. Потрошња електричне енергије у референтној породичној кући пре унапређења енергетских својстава, утврђена на основу интервјуисања станара и пописа уређаја у домаћинству

Вид потрошње енергије	Уређај за домаћинство	Учесталост коришћења	Време коришћења [h]	Снага [W]	Енергија по уређају [kWh/a]	Енергија по виду потрошње [kWh/a]	Енергија по виду потрошње [kWh/(m ² ·a)]
Грејање	Уљани радијатор	8 недеља, 7 дана, 6 сати, 4 недеље, 7 дана, 4 сата	448,0	3000	1344	2329,6	16,6
	Вентилаторска грејалица	8 недеља, 7 дана, 6 сати, 4 недеље, 7 дана, 4 сата	448,0	2200	985,6		
Хлађење	Клима уређај	8 недеља, 7 дана, 12 сати 4 недеље, 7 дана, 6 сати	840,0	1100	924,0	924,0	6,6
Употреба електричних уређаја	Уградна плоча	50 недеља, 7 дана, 2 сата	700,0	3000	2100,0	6605,1	47,1
	Рерна	50 недеља, 3 дана, 2 сата	300,0	2400	720,0		
	Аспиратор	50 недеља, 7 дана, 2 сата	700,0	270	189,0		
	Комбиновани фрижидер и замрзивач	52 недеље, 7 дана, 5 сати	1820,0	200	364,0		
	Комбиновани фрижидер и замрзивач	52 недеље, 7 дана, 5 сати	1820,0	300	546,0		
	Микроталасна пећ	50 недеља, 7 дана, 0,5 сата	175	1200	210,0		
	Машина за веш	50 недеља, 5 дана, 1 сат	250,0	1350	337,5		
	ТВ уређај	50 недеља, 7 дана, 10 сати	3500,0	100	350,0		
	ТВ уређај	50 недеља, 7 дана, 10 сати	3500,0	60	210,0		
	Музички уређај	50 недеља, 7 дана, 3 сата	1050,0	40	42,0		
	Пегла	50 недеља, 1 дан, 5 сати	250,0	1800	450,0		
	Усисивач	50 недеља, 2 дана, 0,5 сати	50,0	2300	115,0		
	Фен за косу	50 недеља, 4 дана, 0,5 сати	100,0	2500	250,0		
	Персонални рачунар	50 недеља, 7 дана, 6 сати	2100,0	180	378,0		
	Апарат за кафу	50 недеља, 7 дана, 0,25 сати	87,5	1500	131,3		
	Миксер	50 недеља, 1 дан, 0,5 сати	25,0	600	15,0		
	Блендер	50 недеља, 1 дан, 0,25 сати	12,5	500	6,3		
	Кетлер	50 недеља, 7 дана, 0,25 сати	87,5	2000	175,0		
	Пуњач за мобилни телефон	50 недеља, 4 дана, 2 сата*	1600,0	10	16,0		

Вид потрошње енергије	Уређај за домаћинство	Учесталост коришћења	Време коришћења [h]	Снага [W]	Енергија по уређају [kWh/a]	Енергија по виду потрошње [kWh/a]	Енергија по виду потрошње [kWh/(m ² ·a)]
Припрема СТВ	Бојлер (80 l)	50 недеља, 7 дана, 1,5 сати	525,0	2000	1050,0	2100,0	15,0
	Бојлер (80 l)	50 недеља, 7 дана, 1,5 сати	525,0	2000	1050,0		
Осветљење	Сијалице	50 недеља, 7 дана, 4,5 сати*	6300,0	100	630,0	994,0	7,1
	Сијалице	50 недеља, 7 дана, 2 сата*	2800,0	80	224,0		
	Сијалице	50 недеља, 7 дана, 1 сат*	1400,0	100	140,0		

*Учесталост коришћења уређаја за домаћинство по особи. У домаћинству станују 4 особе.

Табела 38. Потрошња електричне енергије у помоћним објектима на парцели референтне породичне куће утврђена на основу интервјуисања станара и пописа уређаја у домаћинству

Вид потрошње енергије	Уређај за домаћинство	Учесталост коришћења	Време коришћења [h]	Снага [W]	Енергија [kWh/a]
Грејање	Вентилаторска грејалица	8 недеља, 5 дана, 4 сата	220	2200	484,0
		4 недеље, 5 дана, 3 сата			
Употреба електричних уређаја	ТВ уређај	50 недеља, 5 дана, 4 сата	1000	100	100,0
Осветљење	Сијалице	50 недеља, 7 дана, 0,5 сати*	700	100	70,0

*Учесталост коришћења уређаја за домаћинство по особи. У домаћинству станују 4 особе.

Табела 39. Финална и примарна енергија по видовима потрошње у референтној породичној кући пре унапређења енергетских својстава, утврђене на основу интервјуисања станара и пописа уређаја

Вид потрошње	Енергент	Финална енергија [kWh/a]	Финална енергија [kWh/(m ² ·a)]	Примарна енергија [kWh/a]	Примарна енергија [kWh/(m ² ·a)]
Грејање	Електрична енергија	2329,6	16,6	5824,0	41,5
	Дрвна биомаса	18912,5	134,8	1891,3	13,5
Хлађење	Електрична енергија	924,0	6,6	2310,0	16,5
Употреба ел. уређаја	Електрична енергија	6605,1	47,1	16512,8	117,7
Припрема СТВ	Електрична енергија	2100,0	15,0	5250,0	37,4
Осветљење	Електрична енергија	994,0	7,1	2485,0	17,7
Укупно	Ел. енергија и дрвна биомаса	31865,2	227,1	34273,0	244,2

Табела 40. Финална и примарна енергија по видовима потрошње у референтној породичној кући пре примене мера унапређења, у којој се користи *дрвна биомаса* као енергент за грејање, утврђене на основу компјутерске симулације потрошње енергије

Вид потрошње енергије	Енергент	Финална енергија [kWh/a]	Финална енергија [kWh/(m ² ·a)]	Примарна енергија [kWh/a]	Примарна енергија [kWh/(m ² ·a)]
Грејање	Дрвна биомаса	43.993,5	313,5	4399,3	31,4
Хлађење	Електрична енергија	933,2	6,7	2333,0	16,6
Употреба ел. уређаја	Електрична енергија	6.605,10	47,1	16512,8	117,7
Припрема СТВ	Електрична енергија	2.100,0	15,0	5250,0	37,4
Осветљење	Електрична енергија	994,0	7,1	2485,0	17,7
Укупно	Дрвна биомаса и ел. енергија	54.625,8	389,4	30.980,1	220,8

Табела 41. Финална и примарна енергија по видовима потрошње у референтној породичној кући пре примене мера унапређења, у којој се користи *гас* као енергент за грејање, утврђене на основу компјутерске симулације потрошње енергије

Вид потрошње енергије	Енергент	Финална енергија [kWh/a]	Финална енергија [kWh/(m ² ·a)]	Примарна енергија [kWh/a]	Примарна енергија [kWh/(m ² ·a)]
Грејање	Гас	29.623,7	211,1	32.586,0	232,2
Хлађење	Електрична енергија	933,2	6,7	2.333,0	16,6
Употреба ел. уређаја	Електрична енергија	6.605,1	47,1	16.512,8	117,7
Припрема СТВ	Електрична енергија	2.100,0	15,0	5.250,0	37,4
Осветљење	Електрична енергија	994,0	7,1	2.485,0	17,7
Укупно	Гас и ел. енергија	40256,0	287,0	59166,8	421,6

Прилог Д. Оперативна енергија након унапређења куће

Табела 42. Величина, положај и засенчење топлотног пријемника сунчеве енергије и фотонапонског система на крову референтне породичне куће

Параметар	Вредност	Јединица
Површина колектора топлотног пријемника сунчеве енергије	8,0	m ²
Број модула фотонапонског система	11,0	ком
Угао између хоризонталне пројекције замишљеног сунчевог зрака управног на колектор и правца север-југ, азимут	260,0	°
Угао нагиба колектора	50,0	°
Висина околних објеката који узрокују засенчење, у односу на доњу ивицу колектора	4,1	m
Хоризонтална удаљеност од околних објеката који узрокују засенчење колектора	14,9	m
Додатни фактор засенчења (процент сунчевог зрачења који доспе на колектор)	97,0	%

Улазни подаци у компјутерски програм за симулацију енергије произведене активним соларним системима

Табела 43. Финална и примарна енергија за припрему СТВ, употребу електричних уређаја и осветљење у референтној породичној кући пре и након унапређења енергетских својстава

Референтна породична кућа	Финална енергија [kWh/(m ² ·a)]				Примарна енергија [kWh/(m ² ·a)]			
	СТВ	Ел. уређаји	Осветљење	Вентилација	СТВ	Ел. уређаји	Осветљење	Вентилација
Непромењена својства куће	15,0	47,1	7,1	-	37,5	117,8	17,8	-
Унапређена својства куће	13,5	27,6	0,9	3,1	33,8	69,0	2,3	7,8

*Енергент за енергетске потребе је електрична енергија

Табела 44. Потребна, финална и примарна енергија (значајне појединачне и укупне вредности) у референтној породичној кући пре и након унапређења енергетских својстава

Ознака	Потребна ен. [kWh/(m ² ·a)]	Финална енергија [kWh/(m ² ·a)]			Примарна енергија [kWh/(m ² ·a)]		
	Грејање	Грејање	Хлађење	Укупно	Грејање	Хлађење	Укупно
Непромењена својства	208,5	211,1	6,7	287,0	232,2	16,8	421,8
n ₁ t ₁	96,4	97,8	3,5	143,3	107,6	8,8	221,2
n ₁ t ₁ 2:1	93,5	95,0	4,4	141,4	104,5	11,0	220,4
n ₁ t ₂	93,1	94,4	3,5	139,9	103,8	8,8	217,5
n ₁ t ₂ 2:1	89,8	91,2	4,1	137,3	100,3	10,3	215,5
n ₁ t ₃	75,7	76,8	3,1	121,9	84,5	7,8	197,1
n ₁ t ₃ 2:1	69,6	71,0	4,1	117,1	78,1	12,3	193,2
n ₁ t ₄	73,5	74,6	3,2	119,8	82,1	8,0	194,9
n ₁ t ₄ 2:1	66,3	67,7	3,9	113,6	74,5	9,8	189,1
n ₂ t ₁	80,2	81,3	3,6	126,9	89,4	9,0	203,3
n ₂ t ₁ 2:1	78,6	80,1	4,5	126,6	88,1	11,3	204,2
n ₂ t ₂	76,7	77,8	3,6	123,4	85,6	9,0	199,5
n ₂ t ₂ 2:1	73,8	75,3	4,5	121,8	82,8	11,3	199,0
n ₂ t ₃	59,9	60,6	3,3	105,9	66,7	8,3	179,8
n ₂ t ₃ 2:1	54,6	56,2	4,6	102,8	61,8	11,5	178,2
n ₂ t ₄	57,9	58,9	3,6	104,5	64,8	9,0	178,7
n ₂ t ₄ 2:1	52,0	53,5	4,5	100,0	58,9	11,3	175,0
n ₃ t ₁	62,0	63,1	3,5	108,6	69,4	8,8	183,0
n ₃ t ₁ 2:1	64,4	65,6	4,0	111,6	72,2	10,0	187,0
n ₃ t ₂	58,7	59,7	3,5	105,2	65,7	8,8	179,3
n ₃ t ₂ 2:1	57,5	59,2	4,6	105,8	65,1	11,5	181,5
n ₃ t ₃	41,8	42,8	3,5	88,3	47,1	8,8	160,7
n ₃ t ₃ 2:1	39,0	41,0	4,6	87,6	45,1	11,5	161,5
n ₃ t ₄	39,7	40,7	3,5	86,2	44,8	8,8	158,4
n ₃ t ₄ 2:1	36,0	38,2	4,7	84,9	42,0	11,8	158,7
n ₄ t ₁	52,1	53,1	3,7	98,8	58,4	9,3	172,5

Ознака	Потребна ен. [kWh/(m ² ·a)]	Финална енергија [kWh/(m ² ·a)]	Примарна енергија [kWh/(m ² ·a)]	Потребна ен. [kWh/(m ² ·a)]	Финална енергија [kWh/(m ² ·a)]	Примарна енергија [kWh/(m ² ·a)]	Потребна ен. [kWh/(m ² ·a)]
	Грејање	Грејање	Хлађење	Грејање	Грејање	Хлађење	Грејање
n ₄ t ₁ 2:1	52,8	54,4	4,9	101,3	59,8	12,3	177,0
n ₄ t ₂	46,6	47,6	3,7	93,3	52,4	9,3	166,5
n ₄ t ₂ 2:1	48,3	50,1	5,0	97,1	55,1	12,5	172,5
n ₄ t ₃	32,8	33,9	3,8	79,7	37,3	9,5	151,7
n ₄ t ₃ 2:1	30,9	33,3	5,1	80,4	36,6	12,8	154,3
n ₄ t ₄	30,8	32,0	3,9	77,9	35,2	9,8	149,8
n ₄ t ₄ 2:1	27,9	30,8	5,3	78,1	33,9	13,3	152,0
n ₃ t ₃ v	33,6	34,9	3,0	83,0	38,4	7,5	158,5
n ₃ t ₃ 2:1 v	29,8	32,9	3,8	81,8	36,2	9,5	158,3
n ₃ t ₄ v	31,6	33,0	3,0	81,1	36,3	7,5	156,4
n ₃ t ₄ 2:1 v	26,9	30,6	3,8	79,5	33,7	9,5	155,8
n ₄ t ₃ v	25,0	26,8	3,0	74,9	29,5	7,5	149,6
n ₄ t ₃ 2:1 v	22,4	26,3	3,9	75,3	28,9	9,8	151,3
n ₄ t ₄ v	23,4	25,1	3,0	73,2	27,6	7,5	147,7
n ₄ t ₄ 2:1 v	19,6	24,4	3,9	73,4	26,8	9,8	149,2

*Енергент за грејање је гас, за остале енергетске потребе електрична енергија

Табела 45. Потрошња електричне енергије за употребу електричних уређаја, припрему СТВ и осветљење у референтној породичној кући, након унапређења енергетских својстава

Вид потрошње енергије	Уређај за домаћинство	Учесталост коришћења	Време коришћења [h]	Снага* [W]	Енергија по уређају [kWh/a]	Енергија по виду потрошње [kWh/a]	Енергија по виду потрошње [kWh/(m ² ·a)]
Употреба електричних уређаја	Уградна плоча	50 недеља, 7 дана, 2 сата	700,0	2000	1400,0	3870,5	27,58
	Рерна	50 недеља, 3 дана, 2 сата	300,0	2000	600,0		
	Аспиратор	50 недеља, 7 дана, 2 сата	700,0	150	105,0		
	Комбиновани фрижидер и замрзивач	52 недеље, 7 дана, 5 сати	1820,0	150	273,0		
	Комбиновани фрижидер и замрзивач	52 недеље, 7 дана, 5 сати	1820,0	150	273,0		
	Микроталасна пећ	50 недеља, 7 дана, 0,5 сата	175,0	1000	175,0		
	Машина за веш	50 недеља, 5 дана, 1 сат	250,0	900	225,0		
	ТВ уређај	50 недеља, 7 дана, 10 сати	3500,0	20	70,0		
	ТВ уређај	50 недеља, 7 дана, 10 сати	3500,0	20	70,0		
	Музички уређај	50 недеља, 7 дана, 3 сата	1050,0	30	31,5		
	Пегла	50 недеља, 1 дан, 5 сати	250,0	750	187,5		
	Усисивач	50 недеља, 2 дана, 0,5 сати	50,0	650	32,5		
	Фен за косу	50 недеља, 4 дана, 0,5 сати	100,0	600	60,0		
	Персонални рачунар	50 недеља, 7 дана, 6 сати	2100,0	70	147,0		
	Апарат за кафу	50 недеља, 7 дана, 0,25 сати	87,5	500	43,8		
	Миксер	50 недеља, 1 дан, 0,5 сати	25,0	600	15,0		
	Блендер	50 недеља, 1 дан, 0,25 сати	12,5	500	6,3		
	Кетлер	50 недеља, 7 дана, 0,25 сати	87,5	1600	140,0		
	Пуњач за телефон	50 недеља, 4 дана, 2 сата**	1600,0	10	16,0		
	Припрема СТВ	Бојлер (80 l)	50 недеља, 7 дана, 1,5 сати	525,0	1800		
Бојлер (80 l)		50 недеља, 7 дана, 1,5 сати	525,0	1800	945,0		
Осветљење	Сијалице	50 недеља, 7 дана, 4,5 сати**	6300,0	12	75,6	126,0	0,90
	Сијалице	50 недеља, 7 дана, 2 сата**	2800,0	12	33,6		
	Сијалице	50 недеља, 7 дана, 1 сат**	1400,0	12	16,8		

* Подаци о снази уређаја су преузети из истраживања о употреби ел. уређаја у просечном домаћинству у Бриселу (SI, 2015).

** Учесталост коришћења уређаја за домаћинство по особи. У домаћинству станују 4 особе.

Табела 46. Вредности потребне енергије за грејање, укупне примарне и максималне дозвољене примарне енергије за нивое унапређења референтне куће, утврђене стандардом без обавезе примене пасивна кућа

Ознака	Потребна енергија за грејање [kWh/(m ² ·a)]	Укупна примарна енергија [kWh/(m ² ·a)]	Максимална дозвољена примарна енергија [kWh/(m ² ·a)]
n ₁ t ₁	96,4	221,2	217,7
n ₁ t ₁ 2:1	93,5	220,4	214,2
n ₁ t ₂	93,1	217,5	213,7
n ₁ t ₂ 2:1	89,8	215,5	209,8
n ₁ t ₃	75,7	197,1	192,8
n ₁ t ₃ 2:1	69,6	193,2	185,5
n ₁ t ₄	73,5	194,9	190,2
n ₁ t ₄ 2:1	66,3	189,1	181,6
n ₂ t ₁	80,2	203,3	198,2
n ₂ t ₁ 2:1	78,6	204,2	196,3
n ₂ t ₂	76,7	199,5	194,0
n ₂ t ₂ 2:1	73,8	199,0	190,6
n ₂ t ₃	59,9	179,8	173,9
n ₂ t ₃ 2:1	54,6	178,2	167,5
n ₂ t ₄	57,9	178,7	171,5
n ₂ t ₄ 2:1	52,0	175,0	164,4
n ₃ t ₁	62,0	183,0	176,4
n ₃ t ₁ 2:1	64,4	187,0	179,3
n ₃ t ₂	58,7	179,3	172,4
n ₃ t ₂ 2:1	57,5	181,5	171,0
n ₃ t ₃	41,8	160,7	152,2
n ₃ t ₃ 2:1	39,0	161,5	148,8
n ₃ t ₄	39,7	158,4	149,6
n ₃ t ₄ 2:1	36,0	158,7	145,2
n ₄ t ₁	52,1	172,5	164,5
n ₄ t ₁ 2:1	52,8	177,0	165,4
n ₄ t ₂	46,6	166,5	158,0
n ₄ t ₂ 2:1	48,3	172,5	160,0
n ₄ t ₃	32,8	151,7	141,4
n ₄ t ₃ 2:1	30,9	154,3	139,1
n ₄ t ₄	30,8	149,8	139,0
n ₄ t ₄ 2:1	27,9	152,0	135,5
n ₃ t ₃ v	33,6	158,5	142,3
n ₃ t ₃ 2:1 v	29,8	158,3	137,8
n ₃ t ₄ v	31,6	156,4	139,9
n ₃ t ₄ 2:1 v	26,9	155,8	134,3
n ₄ t ₃ v	25,0	149,6	132,4
n ₄ t ₃ 2:1 v	22,4	151,3	128,9
n ₄ t ₄ v	23,4	147,7	130,1
n ₄ t ₄ 2:1 v	19,6	149,2	125,5

Табела 47. Укупна примарна енергија и удео енергије произведене топлотним пријемницима сунчевог зрачења у финалној енергији након унапређења енергетских својстава референтне породичне куће

Ознака	Равни топлотни пријемници		Цевно-вакуумски топлотни пријемници	
	Примарна енергија [kWh/a]	Удео [%]	Примарна енергија [kWh/a]	Удео [%]
n ₁ t ₁	197,2	6,7	192,9	7,9
n ₁ t ₁ 2:1	196,4	6,8	192,1	8,0
n ₁ t ₂	193,5	6,9	189,2	8,1
n ₁ t ₂ 2:1	191,4	7,0	187,1	8,2
n ₁ t ₃	173,1	7,9	168,8	9,3
n ₁ t ₃ 2:1	169,2	8,2	164,9	9,7
n ₁ t ₄	170,9	8,0	166,6	9,4
n ₁ t ₄ 2:1	165,1	8,5	160,8	10,0
n ₂ t ₁	179,3	7,6	175,0	8,9
n ₂ t ₁ 2:1	180,2	7,6	175,9	8,9
n ₂ t ₂	175,5	7,8	171,2	9,2
n ₂ t ₂ 2:1	175,0	7,9	170,7	9,3
n ₂ t ₃	155,8	9,1	151,5	10,7
n ₂ t ₃ 2:1	154,2	9,3	149,9	11,0
n ₂ t ₄	154,7	9,2	150,4	10,8
n ₂ t ₄ 2:1	151,0	9,6	146,7	11,3
n ₃ t ₁	159,0	8,8	154,7	10,4
n ₃ t ₁ 2:1	163,0	8,6	158,7	10,1
n ₃ t ₂	155,3	9,1	151,0	10,7
n ₃ t ₂ 2:1	157,5	9,1	153,2	10,7
n ₃ t ₃	136,7	10,9	132,4	12,8
n ₃ t ₃ 2:1	137,5	11,0	133,2	12,9
n ₃ t ₄	134,4	11,1	130,1	13,1
n ₃ t ₄ 2:1	134,6	11,3	130,3	13,3
n ₄ t ₁	148,5	9,7	144,2	11,4
n ₄ t ₁ 2:1	153,0	9,5	148,7	11,2
n ₄ t ₂	142,5	10,3	138,2	12,1
n ₄ t ₂ 2:1	148,5	9,9	144,2	11,6
n ₄ t ₃	127,7	12,1	123,4	14,2
n ₄ t ₃ 2:1	130,3	11,9	126,0	14,1
n ₄ t ₄	125,8	12,3	121,5	14,5
n ₄ t ₄ 2:1	128,0	12,3	123,7	14,5
n ₃ t ₃ v	134,5	11,6	130,2	13,6
n ₃ t ₃ 2:1 v	134,3	11,7	130,0	13,8
n ₃ t ₄ v	132,4	11,8	128,1	13,9
n ₃ t ₄ 2:1 v	131,8	12,1	127,5	14,2
n ₄ t ₃ v	125,6	12,8	121,3	15,1
n ₄ t ₃ 2:1 v	127,3	12,8	123,0	15,0
n ₄ t ₄ v	123,7	13,1	119,4	15,4
n ₄ t ₄ 2:1 v	125,2	13,1	120,9	15,4

Табела 48. Укупна примарна енергија и удео енергије произведене фотонапонским панелима у финалној енергији након унапређења енергетских својстава референтне породичне куће

Ознака	Ћелије од поликристалног силицијума		Ћелије од монокристалног силицијума	
	Примарна енергија [kWh/a]	Удео [%]	Примарна енергија [kWh/a]	Удео [%]
n ₁ t ₁	189,7	8,8	187,2	9,5
n ₁ t ₁ 2:1	188,9	8,9	186,4	9,6
n ₁ t ₂	186,0	9,0	183,5	9,7
n ₁ t ₂ 2:1	183,9	9,2	181,4	9,9
n ₁ t ₃	165,6	10,3	163,1	11,2
n ₁ t ₃ 2:1	161,7	10,8	159,2	11,6
n ₁ t ₄	163,4	10,5	160,9	11,4
n ₁ t ₄ 2:1	157,6	11,1	155,1	12,0
n ₂ t ₁	171,8	9,9	169,3	10,7
n ₂ t ₁ 2:1	172,7	10,0	170,2	10,7
n ₂ t ₂	168,0	10,2	165,5	11,0
n ₂ t ₂ 2:1	167,5	10,3	165,0	11,2
n ₂ t ₃	148,3	11,9	145,8	12,8
n ₂ t ₃ 2:1	146,7	12,3	144,2	13,2
n ₂ t ₄	147,2	12,1	144,7	13,0
n ₂ t ₄ 2:1	143,5	12,6	141,0	13,6
n ₃ t ₁	151,5	11,6	149,0	12,5
n ₃ t ₁ 2:1	155,5	11,3	153,0	12,2
n ₃ t ₂	147,8	12,0	145,3	12,9
n ₃ t ₂ 2:1	150,0	11,9	147,5	12,9
n ₃ t ₃	129,2	14,3	126,7	15,4
n ₃ t ₃ 2:1	130,0	14,4	127,5	15,5
n ₃ t ₄	126,9	14,6	124,4	15,8
n ₃ t ₄ 2:1	127,1	14,8	124,6	16,0
n ₄ t ₁	141,0	12,8	138,5	13,8
n ₄ t ₁ 2:1	145,5	12,4	143,0	13,4
n ₄ t ₂	135,0	13,5	132,5	14,6
n ₄ t ₂ 2:1	141,0	13,0	138,5	14,0
n ₄ t ₃	120,2	15,8	117,7	17,1
n ₄ t ₃ 2:1	122,8	15,7	120,3	16,9
n ₄ t ₄	118,3	16,2	115,8	17,5
n ₄ t ₄ 2:1	120,5	16,1	118,0	17,4
n ₃ t ₃ v	127,0	15,2	124,5	16,4
n ₃ t ₃ 2:1 v	126,8	15,4	124,3	16,6
n ₃ t ₄ v	124,9	15,5	122,4	16,8
n ₃ t ₄ 2:1 v	124,3	15,9	121,8	17,1
n ₄ t ₃ v	118,1	16,8	115,6	18,2
n ₄ t ₃ 2:1 v	119,8	16,7	117,3	18,1
n ₄ t ₄ v	116,2	17,2	113,7	18,6
n ₄ t ₄ 2:1 v	117,7	17,2	115,2	18,5

Прилог Ђ. Енергија животног циклуса куће

Инвентар за први ниво унапређења енергетских својстава референтне породичне куће примењен 30 година након њене изградње је приказан у табелама 31 до 40. Пет парцијалних модела поткатегорија енергије у укупном животном циклусу зграде дају резултате о кумулативним вредностима потрошње енергије куће.

Иницијална уграђена енергија

Иницијална уграђена енергија грађевинских материјала, производа и система у оквиру граница система од колевке до капије се рачуна применом математичке једначине:

$$E_{CG}^{init} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot w_i \cdot E_{cg,i} \quad (\text{П.1})$$

Табела 49. Парцијални инвентар иницијалне уграђене енергије грађевинских материјала, производа и система, граница система од колевке до капије

Група компоненте	Назив компоненте	Измерена количина <i>m</i>	Мерна јединица [kg, m, m ² , m ³ , ком.]	Коефицијент отпада <i>w</i>	Опис
Опека и блокови	Пуна опека	118.062,00	kg	1,1	Спољашњи зидови
	Шупља опека	10.524,00	kg	1,1	Унутрашњи зидови
	Шупљи стаклени блокови	385,00	kg	1,0	Спољашњи зид уз степенишни простор
	ТМЗ блокови	6.512,00	kg	1,1	Међуспратна конструкција
Малтер	Песак	50.994,00	kg	1,3	Зидови, међуспратне конструкције
	Креч	11.362,00	kg	1,3	
	Цемент	4.860,00	kg	1,3	
Насипни материјали	Земља	101.344,00	kg	1,1	Испод плоче приземља
	Шљунак	15.096,00	kg	1,1	

Група компоненте	Назив компоненте	Измерена количина <i>m</i>	Мерна јединица [kg, m, m ² , m ³ , ком.]	Коефицијент отпада <i>w</i>	Опис
Бетон	Цемент	35.790,00	kg	1,1	Плоча на тлу, међуспратна конструкција, серклажи, натпрозорне и надвратне греде
	Шљунак	60.724,00	kg	1,1	
Материјали за облагања	Цреп	7.809,00	kg	1,1	Кров
	Пвц	336,00	kg	1,1	
	Битумен	396,00	kg	1,1	Плоча на тлу
	Ламинирано дрво	1,45	m ³	1,1	Спољна опшивка крова
	Ламинат	0,90	m ³	1,1	Подови
	Керамичке плочице	680,00	kg	1,1	Подови, зидови
	Ламперија	0,14	m ³	1,1	Зидови, кров
	Боја	146,14	kg	1,05	Унутрашње и спољне зидне површине
Метали	Поцинковани лим	21,95	m ²	1,1	Опшивке, симс
	Челик	1.478,10	kg	1,1	Арматура и ограда
Термоизолациони материјали	Минерална вуна	451,00	kg	1,1	Кров и међуспратна конструкција ка тавану
Мат. за кровну конструкцију	Меко дрво	6,39	m ³	1,1	Кровна конструкција
Врата и прозори	Дрво, стакло, челик	5,42	m ²	1,0	Улазна врата: 62% дрво, 38% стакло, оквир и окови челик
	Иверица	0,15	m ³	1,0	Унутрашња врата
	Пуно меко дрво	1,03	m ³	1,0	Унутрашња и спољашња врата
	Стакло	200,00	kg	1,0	Спољашња врата
	Ламинирано дрво	1,26	m ³	1,0	Шалони
Систем за грејање	Челик, керамика, минерална вуна, пвц	1,00	ком.	1,0	Пећ на дрва, постоље, резервоар за воду, ошачке цеви
	Туч	724,88	kg	1,0	Радијатори
	Нерђајући челик	578,00	kg	1,1	Цеви
	Нерђајући челик	2,40	kg	1,0	Циркулациона пумпа
Систем за водовод и канализацију	Полиетилен	55,05	kg	1,1	Горњи и доњи развод
	Нерђајући челик	69,12	kg	1,0	Вентили, славине, судопере, бојлер
	Керамика	60,00	kg	1,0	Лавабои, тоалет шоље
	Пвц	12,80	kg	1,0	Туш кабина
Иницијална уграђена примарна енергија у граници система од колевке до капије [kWh]					324.090,69

Иницијална уграђена енергија у транспорт грађевинских материјала, производа и система од фабрике до грађевинске локације се рачуна применом математичке једначине:

$$E_T^{init} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot w_i \cdot d_i \cdot E_{t,i} \quad (\text{П.2.})$$

Табела 50. Парцијални инвентар за иницијалну уграђену енергију у транспорт грађевинских материјала, производа и система од фабрике до грађевинске локације

Група компоненте	Назив компоненте	Маса m [t]	Коефицијент отпада w	Дистанца испоруке d [km]	Превозно средство	Опис
Опека и блокови	Пуна опека	118,06	1,1	14	камион 16 - 32 t	Спољни зидови
	Шупља опека	10,52	1,1	170	камион 16 - 32 t	Унутрашњи зидови
	Шупљи стаклени блокови	0,39	1,0	870	камион 16 - 32 t	Спољни зид уз степенишни простор
	ТМЗ блокови	6,51	1,1	122	лако комерцијално возило	Таваница
Малтер	Песак	50,99	1,3	17	камион 16 - 32 t	Зидови, међуспратне конструкције
	Креч	11,36	1,3	5	камион 16 - 32 t	
	Цемент	4,86	1,3	113	камион 16 - 32 t	
Насипни материјали	Земља	101,34	1,1	5	камион 7.5 - 16 t	Испод плоче приземља
	Шљунак	15,10	1,1	500	баржа до 50 t	
Бетон				17	камион 16 - 32 t	
	Цемент	35,79	1,1	113	камион 7.5 - 16 t	Плоча на тлу, међуспратна конструкција, серклажи, натпрозорне и надвратне греде
	Шљунак	60,72	1,1	500	баржа до 50 t	
			17	камион 16 - 32 t		
Материјали за облагања	Цреп	7,81	1,1	98	камион 16 - 32 t	Кров
	Пвц	0,34	1,1	98	камион 16 - 32 t	Кров
	Битумен	0,40	1,1	98	камион 16 - 32 t	Плоча на тлу
	Ламинирано дрво	0,73	1,1	770	камион 7.5 - 16 t	Спољна опшивка крова
	Ламинат	0,16	1,1	770	камион 7.5 - 16 t	Подови
	Керамичке плочице	0,68	1,1	98	камион 16 - 32 t	Подови, зидови
	Ламперија	0,04	1,1	370	камион 16 - 32 t	Зидови, кров
	Боја	0,15	1,05	17	лако комерцијално возило	Зидови

Група компоненте	Назив компоненте	Маса <i>m</i> [t]	Коефицијен т отпада <i>w</i>	Дистанца испоруке <i>d</i> [km]	Превозно средство	Опис
Метали	Поцинковани лим	0,09	1,1	243	камион 16 - 32 t	Опшивке, симс
	Челик	1,48	1,1	243	камион 16 - 32 t	Арматура и ограда
Термоизолациони материјали	Минерална вуна	0,45	1,1	98	камион 16 - 32 t	Кров и међуспратна конструкција ка тавану
Материјали за кровну конструкцију	Меко дрво	3,20	1,1	370	камион 16 - 32 t	Кровна конструкција
Врата и прозори	Дрво, стакло, челик	0,20	1,0	5	камион 3.5 - 7.5 t	Улазна врата: 62% дрво, 38% стакло, оквир и окови челик
	Иверица	0,09	1,0	5	камион 3.5 - 7.5 t	Унутрашња врата
	Пуно меко дрво	0,52	1,0	5	камион 3.5 - 7.5 t	Унутрашња и спољашња врата
	Стакло	0,20	1,0	5	камион 3.5 - 7.5 t	Спољашња врата
	Ламинирано дрво	0,63	1,0	5	камион 3.5 - 7.5 t	Шалони
Систем за грејање	Челик, керамика, минерална вуна, пвц	0,18	1,0	524	камион 3.5 - 7.5 t	Пећ на дрва, постолје, резервоар за воду, ојачке цеви
	Туч	0,72	1,0	137	камион 3.5 - 7.5 t	Радијатори
	Нерђајући челик	0,58	1,1	137	камион 3.5 - 7.5 t	Цеви
	Нерђајући челик	0,00	1,0	58	камион 3.5 - 7.5 t	Циркулациона пумпа
	Полиетилен	0,06	1,1	252	камион 3.5 - 7.5 t	Горњи и доњи развод
Систем за водовод и канализацију	Нерђајући челик	0,01	1,0	26	камион 3.5 - 7.5 t	Вентили, славине, судопере
	Нерђајући челик	0,06	1,0	264	камион 3.5 - 7.5 t	Бојлер
	Керамика	0,06	1,0	44	камион 3.5 - 7.5 t	Лавабои, тоалет шоље
	Пвц	0,01	1,0	44	камион 3.5 - 7.5 t	Туш кабина
Иницијална уграђена примарна енергија у испоруку компоненти зграде од фабрике до локације [kWh]						22.467,62

Иницијална уграђена енергија у изградњу и уградњу грађевинског материјала, производа или система у зграду E_A^{init} се рачуна применом математичке једначине:

$$E_A^{init} = \sum_{i=1}^n P_i \cdot \frac{Q_i}{p_i \cdot k_i} \quad (\text{П.3.})$$

Табела 51. Парцијални инвентар за иницијалну уграђену енергију у изградњу и уградњу грађевинског материјала, производа и система у зграду

Опис радова	Грађевинска машине	Снага мотора P [kW]	Количина грађевинских радова Q	Мерна јединица	Теоријски учинак p	Мерна јединица	Редукциони коефицијент k	Финална енергија [kWh]	Примарна енергија [kWh]
Скидање хумуса	Механичка лопата	34	68,10	m ³	35	m ³ /h	0,60	110,26	121,28
Ископ земље	Багер мотикар	90	130,51	m ³	41	m ³ /h	0,39	734,58	808,04
Насипање земље	Багер мотикар	90	200,18	m ³	41	m ³ /h	0,39	1.126,72	1.239,39
Набијање земље	Плочаста вибратор	8	226,48	m ²	275	m ² /h	0,90	7,32	8,05
Мешање малтера	Мешалица	5	50,30	m ³	0,39 0,025	m ³ h/циклус	0,70	23,03	57,58
Мешање бетона	Мешалица	5	52,40	m ³	0,39 0,025	m ³ h/циклус	0,70	23,99	59,98
Дизање малтера	Брза грађевинска дизалица	4	38.886,9 8,00	kg m	450 3000	kg m/h	0,90	1,02	2,56
Дизање бетона	Брза грађевинска дизалица	4	38.429,6 8,00	kg m	450 3000	kg m/h	0,90	1,01	2,53
Дизање црепа	Брза грађевинска дизалица	4	8.589,90 18,00	kg m	450 3000	kg m/h	0,90	0,51	0,51
Иницијална уграђена примарна енергија у изградњу и уградњу компоненте зграде [kWh]									2.300,68

* Контејнер за потребе извођача радова и надзор градилишта није монтиран, изградња зграде се спроводила у летњем периоду без потребе за грејањем и осветљењем градилишта. Поступци који захтевају занемарив утрошак енергије нису обухватени инвентаром, нпр. украјање црепа, ламината, оплате за бетон циркуларом, уградња врата и прозора и монтирање олука бушилицом, варење хидроизолације брениром.

Табела 52. Редукциони коефицијенти за примену грађевинских машина

Назив грађевинске машине	Редукциони коефицијенти	Вредност	Укупни редукциони коефицијент k
Механичка лопата	Коефицијент пуњења за глиновито земљиште	0,80	0,60
	Коефицијент отпора при резању средње тешког земљишта	0,83	
	Коефицијент коришћења радног времена за слагање на гомилу	0,90	
Багер мотикар	Коефицијент пуњења за глиновито земљиште	0,80	0,39
	Коефицијент отпора при резању средње тешког земљишта	0,83	
	Коефицијент висине откопа до 2,0 m	0,65	
	Коефицијент коришћења радног времена за слагање на гомилу	0,90	
Мешалица	Коефицијент пуњења	0,78	0,70
	Коефицијент коришћења радног времена	0,90	
Остале машине	Коефицијент коришћења радног времена	0,90	0,90

Иницијална оперативна енергија

Иницијална оперативна енергија E_O^{init} се рачуна применом математичке једначине:

$$E_O^{init} = \sum_{i=1}^n (E_{h,i} + E_{c,i} + E_{v,i} + E_{dwh,i} + E_{ea,i} + E_{l,i} - E_{re,i}) \cdot y_i \quad (\text{П.4.})$$

Табела 53. Парцијални инвентар иницијалну оперативне енергије зграде

Типична година <i>n</i>	Ознака	Вид потрошње	Примарна енергија [kWh/a]	Број година <i>y</i>
1	E_h	Грејање	4399,3	20
	E_c	Хлађење	2333,0	
	E_v	Вентилација	0,0	
	E_{dwh}	Припрема СТВ	5250,0	
	E_{ea}	Употреба електричних уређаја	16512,8	
	E_l	Осветљење	2485,0	
	E_{re}	Енергија из обновљивих извора	0,0	
2	E_h	Грејање	32.586,0	10
	E_c	Хлађење	2.333,0	
	E_v	Вентилација	0,0	
	E_{dwh}	Припрема СТВ	5250,0	
	E_{ea}	Употреба електричних уређаја	16512,8	
	E_l	Осветљење	2485,0	
	E_{re}	Енергија из обновљивих извора	0,0	
Иницијална оперативна примарна енергија [kWh]			1.211.270,0	

Накнадна уграђена енергија

Накнадна уграђена енергија грађевинских материјала, производа и система у граници система од колевке до капије за:

- поступке одржавања зграде рачуна се применом једначине:

$$E_{CG}^{rec} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot w_i \cdot E_{cg,i} \cdot (c_i - 1) \quad (\text{П.5.})$$

- поступке унапређења енергетских својстава зграде рачуна се применом једначине:

$$E_{CG}^{rec} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot w_i \cdot E_{cg,i} \cdot c_i \quad (\text{П.6.})$$

Табела 54. Парцијални инвентар накнадне уграђене енергије компоненти зграде за границу система од колевке до капије

Врста поступка	Група компоненте	Назив компоненте	Измерена количина	Мерна јед. [kg, m ³ , m ² , m, ком.]	Коефицијент отпада <i>w</i>	Број животних циклуса <i>c</i>	Опис	
Одржавање	Материјали за облагања	Цреп	7.809,00	kg	1,1	4	Кров	
		Пвц	336,00	kg	1,1	4	Кров	
		Ламинат	0,90	m ³	1,1	4	Подови	
		Керамичке плочице	680,00	kg	1,1	4	Подови, зидови	
		Боја	146,14	kg	1,05	10	Зидови	
	Метали	Поцинковани лим	21,95	m ²	1,1	4	Опшивке	
	Врата и прозори	Иверица	0,15	m ³	1,0	4	Унутрашња врата	
		Пуно меко дрво	0,43	m ³	1,0	4		
	Систем за грејање	Челик, керамика, минерална вуна, пвц		1,00	ком.	1,0	2	Пећ на дрва, постоље, резервоар за воду, оачке цеви
			Челик	2,40	kg	1,0	2	Циркулациона пумпа

Врста поступка	Група компоненте	Назив компоненте	Измерена количина	Мерна јединица [kg, m ³ , m ² , m, ком.]	Коефицијент отпада w	Број животних циклуса c	Опис	
Одржавање	Систем за водовод и канализацију	Полиетилен	55,05	kg	1,0	4	Горњи и доњи развод	
		Нерђајући челик	7,12	kg	1,0	4	Вентили, славине, судопере	
		Нерђајући челик	62,00	kg	1,0	4	Бојлер	
		Керамика	60,00	kg	1,0	4	Лавабо, тоалет шоље	
		Пвц	12,8	kg	1,0	4	Туш кабина	
Унапређење	Малтери	Песак	15.066,00	kg	1,3	3	Спољашњи зид, при постављању терм., врата и прозора	
		Креч	3.627,00	kg	1,3	3		
		Цемент	1.350,00	kg	1,3	3		
		Песак	702,00	kg	1,3	1	Димњак	
		Креч	169,00	kg	1,3	1		
	Материјали за облагања	Цемент	2.160,00	kg	1,3	1	Цементна кошуљица	
		Песак	3.852,00	kg	1,3	1		
	Метали	Поцинковани лим	9,66	m ²	1,1	3	Олуци	
	Термоизолациони материјали	Полистирен	247,40	kg	1,1	3	Спољашњи зидови, под на тлу, таванива изнад отвореног пролаза	
		Минерална вуна	1.298,00	kg	1,1	3		Кров, таваница изнад грејаног простора
	Врата и прозори	Дрво, стакло, челик		5,42	m ²	1,0	3	Улазна врата: 62% дрво, 38% стакло, оквир и окви челик
			Пуно меко дрво	0,66	m ³	1,0	3	Спољашња врата и прозори
			Стакло	275,00	kg	1,0	3	
			Пвц	93,24	kg	1,0	3	Ролетне
	Систем за грејање	Алуминијум	147,60	kg	1,0	1	Радијатори	
		Бакар	55,63	kg	1,1	1	Цеви	
	Остало	Блокови од лаког бетона	2.051,20	kg	1,1	1	Димњак	
		Керамика	512,80	kg	1,1	1		
		Минерална вуна	38,40	kg	1,1	1		
	Накнадна уграђена примарна енергија у граници система од колевке до капије [kWh]							244.843,80

Накнадна уграђена енергија у транспорт грађевинских материјала, производа и система:

-за транспорт од фабрике до грађевинске локације и од грађевинске локације до места елиминације током поступака *одржавања* и од грађевинске локације до места елиминације током поступака *унапређења* енергетских својстава зграде рачуна се математичком формулом:

$$E_T^{rec} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot w_i \cdot d_i \cdot E_{t,i} \cdot (c_i - 1) \quad (\text{П.7.})$$

- и за транспорт од фабрике до грађевинске локације током поступака *унапређења* енергетских својстава зграде, и од локације до места елиминације компоненти зграде који се не замењују новим, рачуна се математичком формулом:

$$E_T^{rec} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot w_i \cdot d_i \cdot E_{t,i} \cdot c_i \quad (\text{П.8.})$$

Табела 55. Парцијални модел инвентара накнадна уграђене енергије у транспорт компоненти од фабрике до грађевинске локације

Врста поступка	Група компоненте	Назив компоненте	Маса m [t]	Коефицијент отпада w	Дистанца d [km]	Превозно средство	Број животних циклуса c	Опис
Одржавање	Материјали за облагања	Цреп	7,81	1,1	98	камион 16 - 32 t	4	Кров
		Пвц	0,34	1,1	98	камион 16 - 32 t	4	
		Ламинат	0,16	1,1	770	камион 7.5 - 16 t	4	Подови
		Керамичке плочице	0,68	1,1	98	камион 16 - 32 t	4	Подови, зидови
		Боја	0,15	1,05	17	лако комерцијално в.	10	Зидови
	Метали	Поцинковани лим	0,09	1,1	243	камион 16 - 32 t	4	Опшивке
	Врата и прозори	Иверица	0,09	1,0	5	камион 3.5 - 7.5 t	4	Унутрашња врата
		Пуно меко дрво	0,22	1,0	5	камион 3.5 - 7.5 t	4	
	Систем за грејање	Челик, керамика, минерална вуна, пвц	0,18	1,0	524	камион 3.5 - 7.5 t	2	Пећ на дрва, постолје, резервоар за воду, ојачке цеви
		Челик	0,01	1,0	58	камион 3.5 - 7.5 t	2	Циркулациона пумпа

Врста поступка	Група компоненте	Назив компоненте	Маса <i>m</i> [t]	Коефицијент отпада <i>w</i>	Дистанца <i>d</i> [km]	Превозно средство	Број животних циклуса <i>c</i>	Опис
Одржавање	Систем за водовод и канализацију	Полиетилен	0,06	1,0	44	камион 3.5 - 7.5 t	4	Горњи и доњи развод
		Нерђајући челик	0,01	1,0	44	камион 3.5 - 7.5 t	4	Вентили, славине, судопере
		Нерђајући челик	0,06	1,0	264	камион 3.5 - 7.5 t	4	Бојлер
		Керамика	0,06	1,0	44	камион 3.5 - 7.5 t	4	Лавабо, тоалет шоље
		Пвц	0,01	1,0	44	камион 3.5 - 7.5 t	4	Туш кабина
Унапређење	Малтери	Песак	15,07	1,3	17	камион 16 - 32 t	3	Спољашњи зид, при постављању термоизолације, врата и прозора
		Креч	3,63	1,3	5	камион 16 - 32 t	3	
		Цемент	1,35	1,3	113	камион 16 - 32 t	3	
		Песак	0,70	1,3	17	камион 16 - 32 t	1	Димњак
		Креч	0,17	1,3	5	камион 16 - 32 t	1	
	Материјали за облагања	Цемент	2,16	1,3	113	камион 16 - 32 t	1	Цементна кошуљица
		Песак	3,85	1,3	17	камион 16 - 32 t	1	
	Метали	Поцинковани лим	0,04	1,1	243	камион 16 - 32 t	3	Олуци
	Термоизолациони материјали	Полистирен	0,25	1,1	98	камион 16 - 32 t	3	Спољашњи зидови, под на тлу, таванива изнад отвореног пролаза
		Минерална вуна	1,30	1,1	98	камион 16 - 32 t	3	Кров, таваница изнад грејаног простора
	Врата и прозори	Дрво, стакло, челик	0,20	1,0	5	камион 3.5 - 7.5 t	3	Улазна врата: 62% дрво, 38% стакло, оквир и окови челик
		Пуно меко дрво	0,33	1,0	5	камион 3.5 - 7.5 t	3	Спољашња врата и прозори
		Стакло	0,28	1,0	5	камион 3.5 - 7.5 t	3	
		Пвц	0,09	1,0	5	камион 3.5 - 7.5 t	3	Ролетне
	Систем за грејање	Алуминијум	0,15	1,0	360	камион 3.5 - 7.5 t	1	Радијатори
		Бакар	0,06	1,1	360	камион 3.5 - 7.5 t	1	Цеви
	Остало	Блокови од лаког бет.	2,05	1,1	637	камион 16 - 32 t	1	Димњак
Керамика		0,51	1,1	637	камион 16 - 32 t	1		
Минерална вуна		0,04	1,1	637	камион 16 - 32 t	1		
Накнадна уграђена примарна енергија у транспорт од капије до локације [kWh]								6.765.70

Табела 56. Парцијални модел инвентара накнадне уграђене енергије у транспорт од грађевинске локације до места елиминације

Врста поступка	Група компоненте	Назив компоненте	Маса m [t]	Коефицијент отпада w	Дистанца d [km]	Превозно средство	Број животних циклуса c	Опис	
Одржавање	Материјали за облагања	Цреп	7,81	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	4	Кров	
		Пвц	0,34	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	4		
		Ламинат	0,16	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	4	Подови	
		Керамичке плочице	0,68	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	4	Подови, зидови	
		Боја	0,15	1,05	12	камион 7.5 - 16 t	10	Зидови	
	Метали	Поцинковани лим	0,09	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	4	Опшивке	
	Врата и прозори	Иверица	0,09	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	4	Унутрашња врата	
		Пуно меко дрво	0,22	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	4		
	Систем за грејање	Челик, керамика, минерална вуна, пвц		0,18	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	2	Пећ на дрва, постолое, резервоар за воду, ојачке цев
			Челик	0,01	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	2	Циркулациона пумпа
		Систем за водовод и канализацију	Полиетилен	0,06	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	4	Горњи и доњи развод
	Нерђајући челик		0,01	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	4	Вентили, славине, судопере	
	Нерђајући челик		0,06	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	4	Бојлер	
	Керамика		0,06	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	4	Лавабо, тоалет шоље	
		Пвц	0,01	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	4	Туш кабина	
	Унапређење	Малтери	Песак	15,07	1,3	12	камион 7.5 - 16 t	3	Спољашњи зид, при постављању термоиз., врата и прозора
Креч			3,63	1,3	12	камион 7.5 - 16 t	3		
Цемент			1,35	1,3	12	камион 7.5 - 16 t	3	Димњак	
Песак			0,70	1,3	12	камион 7.5 - 16 t	1		
Креч			0,17	1,3	12	камион 7.5 - 16 t	1		
Материјали за облагања		Цемент	2,16	1,3	12	камион 7.5 - 16 t	1	Цементна кошуљица	
		Песак	3,85	1,3	12	камион 7.5 - 16 t	1		
Метали		Поцинковани лим	0,04	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	3	Олуци	
Термоизолациони материјали		Полистирен	0,25	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	3	Спољашњи зидови, под на тлу, таванива изнад отвореног пролаза	
		Минерална вуна	1,30	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	3	Кров, таваница изнад грејаног простора	

Врста поступка	Група компоненте	Назив компоненте	Маса m [t]	Коефицијент отпада w	Дистанца d [km]	Превозно средство	Број животних циклуса c	Опис
Унапређење	Врата и прозори	Дрво, стакло, челик	0,20	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	3	Улазна врата: 62% дрво, 38% стакло, оквир и окови челик
		Пуно меко дрво	0,33	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	3	Спољашња врата и прозори
		Стакло	0,28	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	3	Ролетне
		Пвц	0,09	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	3	Ролетне
	Систем за грејање	Алуминијум	0,15	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	1	Радијатори
		Бакар	0,06	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	1	Цеви
	Остало	Блокови од лаког бетона	2,05	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	1	Димњак
		Керамика	0,51	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	1	
		Минерална вуна	0,04	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	1	
Унапређење (елиминација без замене компоненте)	Опека и блокови	Пуна опека	1,61	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	1	Димњак
		Шупљи стаклени блокови	0,39	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	1	Спољни зид уз степенишни простор
	Малтери	Песак	0,50	1,3	12	камион 7.5 - 16 t	1	Димњак
		Креч	0,13	1,3	12	камион 7.5 - 16 t	1	
		Цемент	0,09	1,3	12	камион 7.5 - 16 t	1	
	Материјали за облагања	Ламинирано дрво	0,73	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	1	Спољ. опшивка крова
		Ламперија	0,04	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	1	Унутрашњи зидови, таваница
	Термоиз. материјали	Минерална вуна	0,45	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	1	Међуспратна конструкција изнад грејаног простора
	Врата и прозори	Пуно меко дрво	0,30	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	1	Балконска врата и прозори
		Стакло	0,20	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	1	Шалони
		Ламинирано дрво	0,63	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	1	Улазна врата
		Пуно меко дрво	0,20	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	1	Улазна врата
	Систем за грејање	Туч	0,72	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	1	Радијатори
		Нерђајући челик	0,58	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	1	Цеви
	Накнадна уграђена примарна енергија у транспорт од грађевинске локације до места елиминације [kWh]							

Накнадна оперативна енергија

Накнадна оперативна енергија E_O^{rec} се рачуна применом математичке једначине:

$$E_O^{rec} = \sum_{i=1}^n (E_{h,i} + E_{c,i} + E_{v,i} + E_{dwh,i} + E_{ea,i} + E_{l,i} - E_{re,i}) \cdot y_i \quad (\text{П.9.})$$

Табела 57. Парцијални модел инвентара накнадне оперативне енергије

Типична година <i>n</i>	Ознака	Вид потрошње	Примарна енергија [kWh/a]	Број година <i>y</i>
1	E_h	Грејање	15.099,5	70
	E_c	Хлађење	1234,9	
	E_v	Вентилација	0,0	
	E_{dwh}	Припрема СТВ	4725,0	
	E_{ea}	Употреба електричних уређаја	9676,2	
	E_l	Осветљење	315,0	
	E_{re}	Енергија из обновљивих извора	0,0	
Накнадна оперативна примарна енергија [kWh]			2.172.869,7	

Енергија рушења зграде

Енергија рушења уграђена у транспорт грађевинских материјала, производа и система од грађевинске локације до места елиминације E_T^{demo} се рачуна применом математичке једначине:

$$E_T^{demo} = \sum_{i=1}^n m_i \cdot w_i \cdot d_i \cdot E_{t,i} \quad (\text{П.10.})$$

Табела 58. Парцијални модел инвентара уграђене енергије рушења у транспорт компоненти зграде од локације до места елиминације

Група компоненте	Назив компоненте	Маса m [t]	Коефицијент отпада w	Дистанца испоруке d [km]	Превозно средство	Опис
Опека и блокови	Пуна опека	116,45	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	Спољни зидови
	Шупља опека	10,52	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	Унутрашњи зидови
	ТМЗ блокови	6,51	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	Таваница
Малтер	Песак	66,26	1,3	12	камион 7.5 - 16 t	Унутрашњи и спољашњи зидови,
	Креч	14,89	1,3	12	камион 7.5 - 16 t	међуспратне конструкције, димњак
	Цемент	6,12	1,3	12	камион 7.5 - 16 t	
Насипни материјали	Земља	101,34	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	Испод плоче приземља
	Шљунак	15,10	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	
Бетон	Цемент	35,79	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	Плоча на тлу, међуспратна конструкција, серклажи, надпрозорне и надвратне греде
	Шљунак	60,72	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	
Материјали за облагања	Цреп	7,81	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	Кров
	Пвц	0,34	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	Кров
	Битумен	0,40	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	Плоча на тлу
	Ламинат	0,16	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	Подови
	Керамичке плочице	0,68	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	Подови, зидови
	Боја	0,15	1,05	12	камион 7.5 - 16 t	Зидови
	Цемент	2,16	1,3	12	камион 7.5 - 16 t	Цементна кошуљица
	Песак	3,85	1,3	12	камион 7.5 - 16 t	

Група компоненте	Назив компоненте	Маса <i>m</i> [t]	Коефицијент отпада <i>w</i>	Дистанца испоруке <i>d</i> [km]	Превозно средство	Опис
Метали	Поцинковани лим	0,13	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	Опшивке, симс, олуци
	Челик	1,48	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	Арматура и ограда
Термоизолациони материјали	Полистирен	0,25	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	Спољашњи зидови, под на тлу, таванива изнад отвореног пролаза
	Минерална вуна	1,30	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	Кров, таваница изнад грејаног простора
Материјали за кровну конструкцију	Меко дрво	3,20	1,1	12		Кровна конструкција
	Врата и прозори				камион 7.5 - 16 t	
	Дрво, стакло, челик	0,20	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	Улазна врата: 62% дрво, 38% стакло, оквир и окови челик
	Иверица	0,09	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	Унутрашња врата
	Пуно меко дрво	0,22	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	
	Пуно меко дрво	0,33	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	Спољашња врата и прозори
	Стакло	0,28	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	
	Пвц	0,09	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	Ролетне
Систем за грејање	Челик, керамика, минерална вуна, пвц	0,18	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	Пећ на дрва, постолје, резервоар за воду, ојачке цеви
	Нерђајући челик	0,00	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	Циркулациона пумпа
	Алуминијум	0,15	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	Радијатори
	Бакар	0,06	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	Цеви
Систем за водовод и канализацију	Полиетилен	0,06	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	Горњи и доњи развод
	Нерђајући челик	0,01	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	Вентили, славине, судопере
	Нерђајући челик	0,06	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	Бојлер
	Керамика	0,06	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	Лавабои, тоалет шоље
	Пвц	0,01	1,0	12	камион 7.5 - 16 t	Туш кабина
Остало	Блокови од лаког бетона	2,05	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	Димњак
	Керамика	0,51	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	
	Минерална вуна	0,04	1,1	12	камион 7.5 - 16 t	
Уграђена примарна енергија у рушење зграде [kWh]						7.023,04

Биографија аутора

Катарина Славковић је рођена 1985. године у Сомбору, где је завршила Основну школу „Иво Лола Рибар“, Гимназију „Вељко Петровић“ и Основну музичку школу „Петар Коњовић“, класа клавира. Архитектонски факултет Универзитета у Београду је уписала 2004. године. Основне академске студије је завршила 2007, а мастер студије 2009. године, са просечном оценом 9,88 и оценом 10 на дипломском раду „Сан Лоренцо (Рим, Италија): Реактивација и реинтеграција урбане четврти“ код ментора проф. др Александре Ступар. Школске 2010/2011. уписује докторске академске студије архитектуре научног карактера (основна област истраживања: архитектура и урбанизам, а ужа научна област истраживања: технологије у архитектури и менаџмент и биоклиматска и еколошка архитектура), и током наредне три године полаже све испите предвиђене наставним планом са просечном оценом 9,93. Наставно-научно веће Архитектонског факултета у Београду је на седници одржаној јула 2014. године одобрило израду докторске дисертације са насловом „Процена уграђене и оперативне енергије за одабране нивое унапређења енергетских својстава породичних кућа“. За ментора је именована проф. др Александра Крстић-Фурунџић.

На Архитектонском факултету Универзитета у Београду, ангажована је за помоћ у настави као студент докторских студија на предмету „Студио пројекат 1: Енергетски ефикасан пословно-комерцијални објекат“, на другом семестру мастер академских студија током 2014/2015. школске године. Учествовала је у настави у својству гостујућег предавача на предмету „Зелени материјали“, на другом семестру специјалистичких академских студија „Енергетски ефикасна и зелена архитектура“ током 2013/2014. и 2014/2015. године. Ангажовање је подразумевало припрему и презентацију сегмента њеног научног истраживања у вези са програмима предмета. Такође, учествовала је у настави у својству демонстратора на предмету „Инсталације у архитектури“, на четвртном семестру основних академских студија током 2012/2013. и 2013/2014. школске године.

Катарина Славковић је учествовала у својству истраживача-докторанта у научноистраживачком пројекту Министарства просвете, науке и технолошког развоја са називом „Истраживање и систематизација стамбене изградње у Србији у контексту глобализације и европских интеграција у циљу унапређења квалитета и стандарда становања“ од 2011. до 2015. године, који се одвијао на Архитектонском факултету у Београду. Руководилац пројекта је био проф. др Владимир Мако, а ментор проф. др Милица Јовановић Поповић. Ангажовање је подразумевало истраживање породичне стамбене изградње у Сомбору, припрему и објављивање резултата у монографијама од националног значаја.

Професионалну каријеру гради у својству пројектанта у архитектонском бироу *Intellinea* у Београду у периоду од 2012. до 2013. године. Стручну праксу је обавила у архитектонском бироу *Zinterl Architects* у Грацу у Аустрији, 2009. године. Ангажована је у својству спољног сарадника у Заводу за заштиту споменика културе града Београда, 2008. године. Учествоје на међународним научним и стручним скуповима, изложбама и конкурсима, радила је у својству рецензента за два међународна часописа.

Одлично влада енглеским и италијанским језиком и служи се немачким језиком. Сертификат о напредном знању енглеског језика Универзитета у Кембриџу добила је 2012. године (енг. Certificate in Advanced English), а сертификат о знању италијанског језика Италијаног института за културу у Београду добила је 2013. године. Носилац је стипендија Министарства просвете, науке и технолошког развоја и Фондације Др Зоран Ђинђић. Члан је Менсе Србије.

Одабрани научни радови

Рад у истакнутом међународном часопису (M22):

Slavković, K., Radivojević, A. (2015). Evaluation of energy embodied in the external wall of single-family buildings in the process of energy performance optimisation. *Energy Efficiency*, 8, 239–253. (ISSN 1570-646X) (DOI 10.1007/s12053-014-9285-3).

Рад у зборнику радова са међународног научног скупа објављен у целини (M33):

Slavković, K., Krstić Furundžić, A. (2014). From Conventional to Low Energy Building in Serbia. A Life Cycle Perspective. *Proceedings of the 45th International Congress and Exhibition on Heating, Refrigerating and Air Conditioning*, N° 23. Belgrade, Serbia. (ISBN 978-86-81505-75-5).

Slavković, K. (2014). Low energy buildings: Concept of energy performance optimization of family houses. *Proceedings of the First International Academic Conference on Places and Technologies*, (pp. 540-548). Belgrade, Serbia. (ISBN 978-86-7924-114-6), (COBISS.SR-ID 206380812).

Slavković, K., Radivojević, A. (2013). Analiza životnog ciklusa: Ograničenja pri merenju ugrađene energije u Srbiji. *Zbornik radova IV Međunarodnog naučno-stručnog simpozijuma Instalacije & Arhitektura*. (pp. 109-117). Beograd, Srbija. (ISBN 978-86-7924-111-5), (COBISS.SR-ID 203621644).

Slavković, K. (2011). Compact City – Sustainable Urban Form. *Proceedings of III International Symposium for students of doctoral studies in the fields of Civil Engineering, Architecture and Environmental Protection. PhIDAC*. (pp. 293-299). Novi Sad, Serbia. (ISBN 978-86-7892-336-4).

Рад у истакнутом тематском зборнику водећег националног значаја (M44):

Jovanović Popović, M., Slavković, K. (2014). Building Typology of Sombor Family Houses. Classification According to General and Specific Criteria. In V. Mako, V. Lojanica, *Housing Development in Serbia in the Context of Globalization and Integrations. Vol. 3, Strategies and Models* (pp. 147-165). Belgrade: Faculty of Architecture University of Belgrade. (ISBN 978-86-7924-134-4), (COBISS.SR-ID 212398092).

Jovanović Popović, M., Slavković, K. (2012). A Methodology to Form Family Housing Typology for the Town of Sombor with Respect of Energy Efficiency Assessment. In V. Mako, V. Lojanica, R. Božović Stamenović, *Housing Development in Serbia in the Context of Globalization and Integrations. Vol 2, Methods and Tendencies* (pp. 243-255). Belgrade: Faculty of Architecture, University of Belgrade. (ISBN 978-86-7942-091-0), (COBISS.SR-ID 196013068).

Изјаве аутора

Изјава о ауторству

Потписани/а: Катарина Ј. Славковић

Број индекса: 10/Д2010

Изјављујем да је докторска дисертација под насловом

**ПРОЦЕНА УГРАЂЕНЕ И ОПЕРАТИВНЕ ЕНЕРГИЈЕ
ЗА ОДАБРАНЕ НИВОЕ УНАПРЕЂЕЊА ЕНЕРГЕТСКИХ СВОЈСТАВА
ПОРОДИЧНИХ КУЋА**

- 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/ла интелектуалну својину других лица.

У Београду, 2016. године

Потпис докторанда

Изјава о истоветности штампане и електронске верзије докторског рада

Име и презиме аутора: Катарина Ј. Славковић

Број индекса: 10/Д2010

Студијски програм: Архитектура и урбанизам

Наслов рада:

ПРОЦЕНА УГРАЂЕНЕ И ОПЕРАТИВНЕ ЕНЕРГИЈЕ ЗА ОДАБРАНЕ НИВОЕ УНАПРЕЂЕЊА ЕНЕРГЕТСКИХ СВОЈСТАВА ПОРОДИЧНИХ КУЋА

Ментор: Александра Крстић-Фурунцић

Потписани/а: Катарина Ј. Славковић

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.

У Београду, 2016. године

Потпис докторанда

Изјава о коришћењу

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

ПРОЦЕНА УГРАЂЕНЕ И ОПЕРАТИВНЕ ЕНЕРГИЈЕ ЗА ОДАБРАНЕ НИВОЕ УНАПРЕЂЕЊА ЕНЕРГЕТСКИХ СВОЈСТАВА ПОРОДИЧНИХ КУЋА

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

(Молимо да заокружите само једну од шест понуђених лиценци, кратак опис лиценци дат је на полеђини листа).

У Београду, 2016. године

Потпис докторанда

1. Ауторство - Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце, чак и у комерцијалне сврхе. Ово је најслободнија од свих лиценци.

2. Ауторство – некомерцијално. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела.

3. Ауторство - некомерцијално – без прераде. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела. У односу на све остале лиценце, овом лиценцом се ограничава највећи обим права коришћења дела.

4. Ауторство - некомерцијално – делити под истим условима. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца не дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада.

5. Ауторство – без прераде. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, без промена, преобликовања или употребе дела у свом делу, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела.

6. Ауторство - делити под истим условима. Дозвољавате умножавање, дистрибуцију и јавно саопштавање дела, и прераде, ако се наведе име аутора на начин одређен од стране аутора или даваоца лиценце и ако се прерада дистрибуира под истом или сличном лиценцом. Ова лиценца дозвољава комерцијалну употребу дела и прерада. Слична је софтверским лиценцама, односно лиценцама отвореног кода.