

**ВИШЕСТРИТЕРИЈУМСКИ ОПТИМИЗАЦИОНИ МОДЕЛ ЗА ИЗБОР
МЕРА ЗА ЕНЕРГЕТСКИ ЕФИКАСНУ САНАЦИЈУ ОМОТАЧА
ЗГРАДА
MULTI-OBJECTIVE OPTIMIZATION MODEL FOR THE SELECTION
OF MEASURES FOR ENERGY EFFICIENT RETROFITTING OF
BUILDING ENVELOPES**

ЗОРАНА ПЕТОЈЕВИЋ¹, ГОРАН ТОДОРОВИЋ², РАДОВАН ГОСПАВИЋ³,
НЕНАД ИВАНИШЕВИЋ⁴

Резиме: У оквиру овог рада биће представљен вишекритеријумски модел за избор и оцену енергетске ефикасности грађевинских мера при изградњи нових зграда или реконструкцију постојећих. Предложени модел, процес оптимизације посматра истовремено кроз четири најзначајнија аспекта енергетске ефикасности: економски аспект, потрошња енергије, утицај на животну средину и задовољење услова комфора, узимајући у обзир потенцијалне промене током целог периода експлоатације објекта, а нарочито оне везане за утицај инфлације и депресијацију/ап्रेसијацију новца. Модел уводи у разматрање динамичке термичке параметре зида који осликавају топлотну акумулативност омотача зграде као и његову способност да обезбеди топлотни комфор у временски променљивим атмосферским условима какви владају у окружењу зграда.

Кључне речи: Енергетска ефикасност, Стамбене зграде, Грађевинске мере, Вишекритеријумска оптимизација

Abstract: Within this paper, a multi-criteria decision-making model for evaluating the energy efficiency of building construction measures for new or existing buildings will be presented. The proposed model observes the optimization process simultaneously through the four most important aspects of energy efficiency: economic aspect, energy consumption, environmental impact and indoor comfort, taking into account factors that may occur in the building environment during its operation, such as inflation and currency depreciation/appreciation. The model introduces dynamic thermal parameters of the wall that reflect thermal accumulation of the building envelope and its ability to provide thermal comfort in time-varying atmospheric conditions in the building environment.

Key Words: Energy Efficiency, Residential Buildings, Construction Measures, Multi-objective Optimization

¹ др Зорана Петојевић, доцент, дипл.инж.грађ., Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73

² др Горан Тодоровић, ванредни професор, дипл.инж.ел., Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73

³ др Радован Госпавић, доцент, дипл.инж.ел., Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73

⁴ др Ненад Иванишевић, редовни професор, дипл.инж.грађ., Универзитет у Београду, Грађевински факултет, Булевар краља Александра 73

1. Увод

Сектор зградарства је највећи појединачни потрошач енергије. Због дугог животног века, утицај зграда на животну средину се не може занемарити. Према подацима које је објавила Међународне агенције за енергетику (енгл. *International Energy Agency*, IEA), потрошња енергије у сектору зградарства представља 36% од укупне светске потрошње енергије, где највећи део, 26%, одлази на стамбене зграде [1].

У Републици Србији потрошња енергије у зградама чини 48% потрошње укупне енергије. Већи део те енергије чак 70%, троше стамбене зграде, док преосталих 30% одлази на јавне и комерцијалне зграде. Највећи део 70–80%, енергије које троше стамбене зграде одлази на енергију потребну за загревање простора и добијање топле воде. Поредџи се са просеком у Европи, зграде у РС, поготову у домену енергије потребне за загревање простора су доста већи потрошачи. Доношењем Стратегије развоја енергетике Републике Србије до 2025. године са пројекцијама до 2030., РС је дефинисала правац енергетске политике у земљи, где је за област зградарства дефинисан циљ да се у периоду до 2030. задржи садашњи ниво потрошње енергије у зградама, тако што ће потребу за енергијом у објектима који ће се тек градити компензовати тако што ће вршити енергетску санацију великог број старих зграда и смањити њихову потрошњу и до 70%, највише у домену потребне енергије за грејање.

У оквиру овог рада биће представљен вишекритеријумски модел за избор и оцену енергетске ефикасности грађевинских мера при изградњи нових зграда или реконструкцији постојећих.

2. Решавање проблема енергетске оптимизације зграда

Решавање проблема унапређења перформанси зграда са аспекта њихове енергетске ефикасности, а данас све више и са аспекта њихове одрживости, је изразито мултидисциплинарног карактера. Одавно је у свету, а све више и код нас напуштено планирање енергетски ефикасних мера које се искључиво бави минимизацијом инвестиционих трошкова. С обзиром на то да у процесу планирања и одлучивања поред крајњег корисника, на посредан или непосредан начин учествују и различите бројне групе учесника као што су институције, административне власти, потенцијални инвеститори и еколошке групе, традиционални монокритеријумски приступ доношења одлука не може више да се носи са често супротстављеним циљевима, захтевима, и ограничењима различитих заинтересованих страна. Доносиоци одлуке су суочени са више супротстављених циљева као што су минимизација инвестиционих трошкова, максимизација уштеда у потрошњи свих видова енергије коју користи објекат, минимизација операционих трошкова, максимизација експлоатационог века свих компоненти система, минимизација негативног утицаја објекта на животну средину, максимизација задовољења свих видова комфора у објекту и сл. На доносиоцима одлуке је терет успостављања прихватљивог биланса између свих испољених супротности и

конфликтних циљева. Сваки од наведених учесника на пројекту има своје мотиве, циљеве и приступ пројекту и сходно томе дефинише своје критеријуме по којима вреднује ефекте пројекта енергетске санације. Сагледавајући овако процес енергетске санације зграда, јасно је да он представља решавање задатака вишекритеријумске оптимизације.

3. Преглед модела вишекритеријумске оптимизације за решавање проблема енергетске оптимизације зграда

Развој метода у области вишекритеријумске оптимизације покренуо је развој бројних модела за решавање проблема енергетске оптимизације зграда. Највећи број модела [2-3], је развијен тако да интегрише у себе физички модел зграде, који на довољно добар начин симулира све енергетске процесе у згради, а са друге стране интегрише адекватан економски модел који сагледава економску и финансијску исплативост објекта са аспекта потрошње/уштеде енергије у току експлоатације самог објекта. Многи истраживачи су у погледу развијања модела ишли даље и поред економских сагледавали и друге аспекте енергетски ефикасних решења. У радовима [4-5], аутори су у вишекритеријумски модел интегрисали и модел за процену топлотног комфора у објекту. Параметар којим је квантификован топлотни комфор у објекту је био *укупан проценат броја сати у топлотно некомформним условима у току једног дана*.

Други аспект, често истраживан и моделован у проблемима вишекритеријумске оптимизације енергетских перформанси зграда, је еколошки аспект, где је најчешћи критеријум био смањење емисије штетних гасова и то гаса CO₂ [6-7]. Развојем методологије под називом Целоживотна анализа зграда (енгл. *Life Cycle Analysis, LCA*) еколошки аспекти оптимизације енергетских перформанси зграда су почели детаљније да се анализирају, узимајући у обзир тако захтеве бројних институција, стандарда, норматива и закона који се баве еколошким аспектима одрживости зграда. У раду [8], Y. Shao и остали, су за потребе доношења одлука у раним фазама реализације пројекта, дефинисали хијерархијску структуру захтева и ограничења свих заинтересованих страна (Слика 1). У свом моделу аутори су дефинисали четири аспекта са којих треба анализирати алтернативе: 1) економски аспект, 2) употреба ресурса, 3) утицај на животну средину и 4) задовољење услова комфора, као и четири врсте ограничења: 1) законска регулативе, 2)



Слика 1. Хијерархијска структура захтева заинтересованих страна [8]

3) утицај на животну средину и 4) задовољење услова комфора, као и четири врсте ограничења: 1) законска регулативе, 2)

функционални захтеви, 3) економска ограничења и 4) климатски услови. Како би се извршила квантификација перформанси зграде за сваки аспект потребно је дефинисати низ индикатора и установити процедуре за њихову квантификацију.

Анализом претходно поменутих модела утврђено је да ни један од оптимизационих модела није у себи садржао све наведене аспекте, већа најчешће само два аспекта, и то најчешће употребу ресурса у комбинацији са још једним наведеним аспектом. У већини радова разматран је само по један финансијски параметар санације, који је или иницијални инвестициони трошак предложених алтернатива, и/или само нето садашња вредност директних трошкова потрошње енергије, без узимања у обзир трошкова замене потрошних компонената термотехничких система и трошкова текућег одржавања. Додатно, већина модела се заснива на робусним компјутерским симулацијама које захтевају јаку хардверску подршку, софистицирана знања која су изван оквира стандардних инжењерских компетенција и временски су захтевна.

У овом раду биће приказан модел који процес оптимизације посматра истовремено кроз четири претходно поменута аспекта енергетске ефикасности, узимајући у обзир цео период експлоатације објекта и уводећи у разматрање динамичке термичке параметре зида.

4. Предлог оптимизационог модела за енергетску санацију зграда

4.1 Предлог методе за вишекритеријумско одлучивање

За методу решавања оптимизационог проблема усвојена је Метода аналитичких хијерархијских процеса (енгл. *Analitical Hierarchy Process, AHP*). Метода је базирана на принципима вишекритеријумског компромисног рангирања алтернативних решења, где се из једне расположиве групе алтернатива бира најповољнија, а на основу дефинисаног броја критеријума за одлучивање. У области грађевинарства АХП метода се примењује како приликом избора оптималних решења везаних за саму фазу извођења радова, тако и приликом доношења неких стратешких одлука у прединвестиционим фазама реализације инвестиционог пројекта.

4.2 Предлог критеријума и подкритеријума за оцену грађевинских мера и дефинисање модела

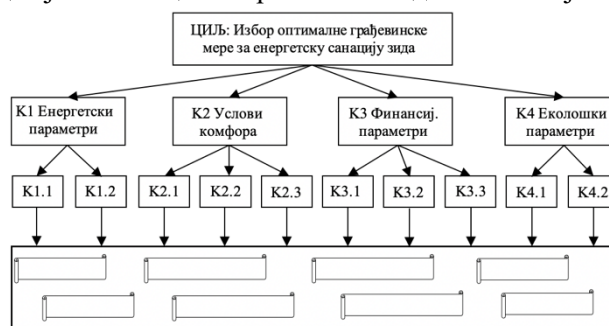
Први корак у решавању оптимизационих проблема јесте формирање оптимизационог модела. Предложени хијерархијски модел се састоји од 4 нивоа: на највишем нивоу је циљ, затим критеријуми и подкритеријуми и алтернативе на дну хијерархије. Модел дефинише четири критеријума за оцену ЕЕ мера: I) енергетски параметри; II) параметри који дефинишу услове комфора; III) финансијски параметри и IV) еколошки параметри. За сваки критеријум су дефинисани следећи подкритеријуми. За критеријум I)

енергетски параметри предложени су: 1) коефицијент пролаза топлоте - К1.1 и 2) трансмисиони површински губици зида - К1.2. У оквиру критеријума II параметри који дефинишу услове комфора дефинисана су 3 подкритеријума. Први подкритеријум је (1) дебљина зида – К2.1. С обзиром на то да енергетска санација фасадних зидова подразумева додавање термоизолационих материјала на зид што повлачи за собом повећавање оптерећења на носеће елементе конструкције, и евентуалне додатне радове на ојачању конструкције, а могуће је и *пробијање* грађевинске линије објекта или смањења корисне површине објекта, за случај да изолацију постављамо са унутрашње стране, оправдано је вредновати алтернативе са аспекта повећања дебљине фасадног зида. Тежња је да са што мањом дебљином изолационог материјала постигнемо што бољу учинкованост санације. Усвојени индикатори који дефинишу услове комфора у објекту, а који зависе од структуре фасадног зида су (2) декремент фактор - К2.2 и (3) временско кашњење амплитуде температуре - К2.3. Декремент фактор амплитуде температуре, представља однос амплитуде температуре унутар објекта и ван објекта и обично се дефинише за осцилације температуре на дневном нивоу, док, временско кашњење, представља кашњење амплитуде температуре унутар објекта у односу на амплитуду температуре ван објекта и изражава се у часовима. Вредности ова два индикатора нам говоре колико је дати зид способан да амплифицира амплитуду топлотног таласа који долази споља и одложи продирање топлоте (хладноће) унутра.

Индикатори који су предложени из групе III) финансијски параметри су: 1) иницијална инвестициона средства – К3.1, 2) укупни трошкови у фази експлоатације – К3.2 и 3) повратни период инвестиционих средстава – К3.3. Последњу групу чине индикатори из групе IV) еколошки параметри, а то су: 1) емисија угљен-диоксида – К4.1 и 2) квалитативна оцена уграђених материјала са аспекта екологије – К4.2.

4.3 Дефинисање хијерархијског АХП модела

Графички приказ овог модела дат је на Слици 2. Приказани модел се састоји од четири нивоа. На највишем нивоу је циљ пројекта: избор оптималне мере за енергетску санацију зграда, ниво испод сачињавају 4 критеријума, на трећем нивоу се налази 10 подкритеријумских функција, док би се на последњем нивоу нашао скуп могућих алтернатива.



Слика 2 Хијерархијски АХП модел за избор ЕЕ мера

4.4 Дефинисање сценарија одлучивања

За предложени модел дефинисана су 4 сценарија одлучивања.

Сценарио С1 - Једнак значај: Представља случај када су сви критеријуми једнаког значаја и у оквиру сваког критеријума сви подкритеријуми једнаког значаја. Дефинисање оваквог сценарија подразумева да групе људи који заступају поједине критеријуме имају једнаке снаге.

Сценарио С2-1 - Изражен финансијски аспект: Подразумева изражен значај финансијских параметара. Посебно је овде подкритеријуму Иницијална финансијска средства дата је *јака доминантност* у односу на остале подкритеријуме.

Сценарио С2-2- Изражен финансијски аспект: Трећи сценарио је дефинисан тако да и даље доминира критеријум финансијски параметри али мало ослабљен. Овај сценарио и даље даје већу снагу групи учесника који заступају финансијски интерес, али који не желе да занемаре ни утицај изабране алтернативе на животну средину.

Сценарио С3 - Изражена еколошка свест: Четврти сценарио даје већу снагу групи учесника који заступају еколошки интерес тако да се критеријумима К1 и К4, даје *слаба доминантност* у односу на преостале.

5. Примена предложеног оптимизационог модела при енергетској санацији фасадног зида зграде

5.1 Дефинисање основног зада и алтернатива за енергетску санацију

Примена предложеног оптимизационог модела приказана је кроз избор мера за санацију један модел фасадног зида за кога је дефинисано више могућих грађевинских мера за енергетску санацију. Модел зида који је усвојена као основни зид је зид од опеке, $d=38\text{cm}$, обострано малтерисан. Зидане конструкције од опеке без термоизолације су грађене широм наше земље у периоду до 1970. године и у погледу коефицијента пролаза топлоте, овакви зидови не задовољавају услов из Правилника, са одступањем и преко 200%. За дати основни зид предложено је укупно 12 алтернатива за његов санацију.

Алтернативна решења енергетске санације овог зида су заснована на предлогу коришћења савремених грађевинских материјала и то: 1) експандираног полистирена као једног од најприменљивијег термоизолационог материјала данас са добрим термичким карактеристикама, лаким начином уградње и доста приступачном ценом; 2) нешто новијег материјала на бази полиуретанске пене са душло бољим термичким карактеристикама и дужим веком експлоатације, али и нешто већом ценом; 3) најсавременијим еколошким материјалима на бази аерогела: аерогел малтерима и тканинама који са свега 3-5cm постижу нискоенергетске захтеве у објекту, са поједнаком могућношћу и ефикасношћу примене са спољашње и унутрашње стране зида, али чија је цена висока (и до десет пута већа од полистирена) и чије тржиште још није развијено; и 4) најсавременијим термоизолационим материјалом, панел са вакуумском

изолацијом, који тренутно има најбоље термичке карактеристике и до 10 пута боље од полистирена, и исто толико мањим дебљинама, али са веома високом ценом, још не раширеним тржиштем и ограниченим облицима и димензијама производа. Рекапитулација предложених алтернатива, са ознаком и описом сваке алтернативе дата је у Табели 1.

Табела 1. Рекапитулација предложених алтернатива

АЛТЕРНАТИВЕ			
РД.БР.	ОЗНАКА	ОПИС	Очекивани ниво ЕЕ
Основни зид	ОЗ	Опека 38цм обострано малтерисан	енергетски неефикасна зграда
Алтернатива 1	Ал1-Епс7	Опека 38цм, ЕПС 7цм, обострано малтерисан	задовољен минимални услов за ЕЕЗ
Алтернатива 2	Ал2-Епс10	Опека 38цм, ЕПС 10цм, обострано малтерисан	ЕЕЗ
Алтернатива 3	Ал3-Епс15	Опека 38цм, ЕПС 15цм, обострано малтерисан	високо ЕЕЗ
Алтернатива 4	Ал4-Вип2.5-Епс3	Опека 38цм, ВИП 2.5цм, ЕПС 3цм, обострано малтерисан	високо ЕЕЗ
Алтернатива 5	Ал5-Вип4-Епс5	Опека 38цм, ВИП 4цм, ЕПС 5цм, обострано малтерисан	веома високо ЕЕЗ
Алтернатива 6	Ал6-Вип6-Епс5	Опека 38цм, ВИП 6цм, ЕПС 5цм, обострано малтерисан	одговара пасивном начину градње
Алтернатива 7	Ал7-Епс3-Абс2.5	Опека 38цм, ЕПС 3цм, Аерогел бластер 2.5цм	задовољен минимални услов за ЕЕЗ
Алтернатива 8	Ал8-Абл2-Абс2.5	Опека 38цм, Аерогел бланкет 2цм, аерогел бластер 2.5цм	задовољен минимални услов за ЕЕЗ
Алтернатива 9	Ал9-Абл4-Абс2.5	Опека 38цм, Аерогел бланкет 4цм, Аерогел бластер 2.5цм	ЕЕЗ
Алтернатива 10	Ал10-Прф5	Опека 38цм, ПРФ 5цм, обострано малтерисан	задовољен минимални услов за ЕЕЗ
Алтернатива 11	Ал11-Прф10	Опека 38цм, ПРФ 10цм, обострано малтерисан	високо ЕЕЗ
Алтернатива 12	Ал12-Прф15	Опека 38цм, ПРФ 15цм, обострано малтерисан	веома високо ЕЕЗ

Легенда: ЕЕЗ- - енергетски ефикасна зграда

5.2 Одређивање вредности подкритеријумских функција у алтернативама

Вредност подкритеријумске функције К1.1 – Коефицијент пролаза топлоте је рачунат према Стандарду ISO 6946 за раван зид са н-слојева код кога су познате топлотне карактеристика сваког слоја.

Вредност подкритеријумске функције К1.2 Трансмисиони површински губици топлоте кроз зид је рачуната коришћењем Квази-стационарног потпуно дефинисаног месечног модел, а који је приказан у Правилнику о енергетској ефикасности зграда.

Вредност подкритеријумске функције К2.1 Дебљина фасадног зида, је дефинисана као разлика укупне дебљине зида новопредложене алтернативе и укупне дебљине основног зида. Динамички термички параметри зида:

дектемент фактор (K2.2.) и временско кашњење (K2.3), рачунати су у складу са Стандардом ISO 13786.

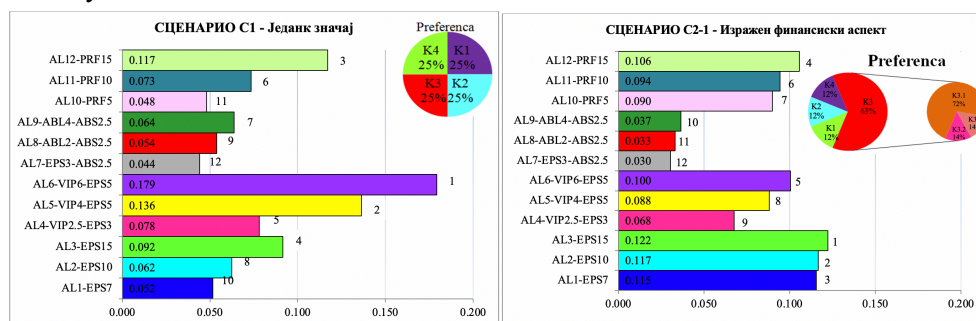
Одређивање вредности подкритеријумске функције K3.1 Иницијална финансијска средства вршено је применом детаљног модела за процену трошкова који обухвата процену директних трошкова за материјал, радну снагу и механизацију и процену индиректних трошкова. Укупни трошкови у фази експлоатације скао и Повратни период финансијских средстава у срачунати у свему према методологије која је прописана у стандарду EN 15459:2007 CEN/TC 228.

Вредновање алтернатива, у смислу примене материјала који су са еколошког аспекта прихватљиви, је урађено тако што се код сваке алтернативе сагледавао еколошки аспект примењене термоизолације. Алтернативе су категорисане у три квалитативне категорије: *лош*, *добар*, *одличан*. Да би материјал тј. алтернатива била што боље оцењена, коришћени термоизолациони материјал је требало да буде дуговечан, да не доприноси угрожавању животне средине, да није токсичан, радиоактиван и да не емитују штетне хемикалије, да обезбеђује дифузију водене паре, да обезбеђује унутрашњу температуру у оптималном опсегу за здравље људи, да обезбеђује адекватну изолацију од буке, као и да се може рециклирати или накнадно користити у исте или сличне сврхе.

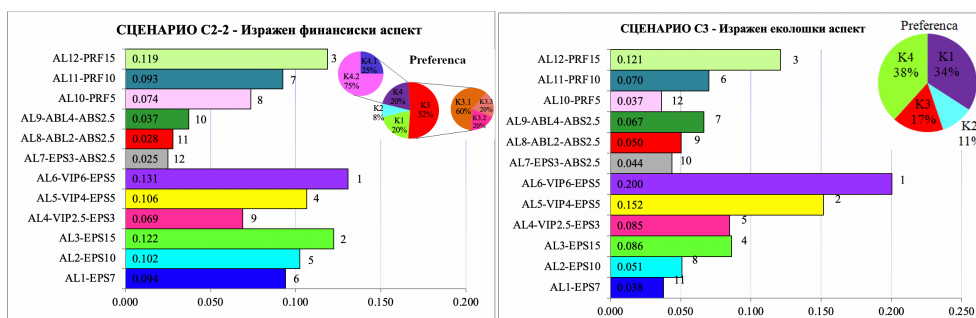
Вредност подкритеријумске функције K4.2 – Емисија CO₂ представљена је преко количине гаса CO₂ која настаје током процеса производње потребне енергије за грејање објекта у фази експлоатације и одређена је на основу специфичне емисије CO₂ за коришћени енергент - електричну енергију.

5.3 Резултати и дискусија

Решавање постављеног оптимизационог модела применом АХП методе, урађено је програму SuperDecisions Model. Комплетни резултат рангирања по свим претходно дефинисаним сценаријима, са приказом релативне важности сваке алтернативе у односу на циљ и приказом преференце доносиоца одлуке, дати су на Слици 3 и Слици 4.



Слика 3. Рангирање алтернатива према сценарију С1, С2-1



Слика 4. Рангирање алтернатива према сценарију C2-2 и C3

Следећи сценарио C1 који подразумева задавање подједнаких тежина свим критеријумима односно подкритеријумима, прорачуном се добија да је оптимална алтернатива Ал6-Вип6-Епс5, после које следи Ал5-Вип4-Епс5 и њој веома блиска по важности алтернатива Ал12-Прф-15. Уколико се критеријуму K3 – Финансијски параметри повећа значај, али тако да се само подкритеријуму K3.1 – Иницијални трошкови додели ранг *јака доминантност* у односу на остале подкритеријуме, рангирање алтернатива ће се значајно променити. Алтернатива 6, која укључује примену термички најбољих материјала, чија је цена висока, а која је *победила* у претходном прорачуну сада заузима 5 место, а водеће алтернативе су алтернативе Ал3-Епс15, Ал2-Епс10 и Ал1-Епс7. Смањујући ранг доминантности критеријума K3 - Финансијски аспект, најјефтиније алтернативе Алтернатива 2 и Алтернатива 1 нису више у водећој групи алтернатива, а за оптималне алтернативе су Ал6-Вип6-Епс5 иза које следе Ал3-Епс15 и алтернатива Ал12-Прф15. Слично, сценарио C3 предлаже као оптималну варијанту алтернативу Ал6-Вип6-Епс5 иза које следе Ал5-Вип4-Епс5 и Ал12-Прф15.

Приказани резултати рангирања алтернатива према претходна четири сценарија указују на значајан утицај преференце доносиоца одлуке, односно промена нивоа доминантности једног критеријума, односно подкритеријума у односу на други води ка промени рангирања алтернатива. Урађена анализа осетљивости је показала да Алтернатива 6 најбрже опада како се повећава значај критеријума K3. За вредности преференце овог критеријума веће од 52% (*слаба доминантност* и *јаче*), Алтернатива 6 није више водећа алтернатива, већ водеће место преузима Алтернатива 3 (Ал3-Епс15). Алтернатива која има најмањи тренд у опадању релативне важност у односу на циљ је Алтернатива 12 (Ал12-Прф15). Њен ранг је 3 за све нивое значаја критеријума K3.

На основу приказаних резултата јасно је са истицањем важности финансијских параметара, алтернативе које за собом повлаче већа финансијска средства и најсавременије материјале, које су без фаворизовања овог параметра водеће, бивају брзо потиснуте алтернативама које у себи садрже конвенцијалне материјале са нижом ценом. Оваква доминација скупих алтернатива је логична, с обзиром на велики број и саму структуру критеријума и подкритеријума. Смањивање броја критеријума, али тако да увек остане

критеријум *финансијски параметри* би променило овакву доминацију скувих алтернатива, али такво решење не би више одражавало потребе и захтеве свих заинтересованих страна, чиме би се нарушио принцип свеобухватности.

6. Закључак

На основу свега горе наведеног, закључује се да приказани оптимизациони модел на свеобухватан начин описује оптимизациони проблем енергетске санације фасадног зида, а с обзиром на примењену методу оптимизације, даје конзистентно решење. Предложени модел даје конкретне и практичне резултате који помажу при доношењу одлука при енергетској санацији објекта и пружа значајне друге важне информације као што су операциони трошкови у периоду експлоатације, трошкови одржавања, повећање услова комфора, продужење експлоатационог века објекта и очувања вредности некретнине. Поред наведених користи, информације које пружа овај модел могу послужити као моћан алат у процесу обезбеђивања неопходних иницијалних финансијских средстава било код приватног или јавног сектора.

7. Литература

- [1] International Energy Outlook 2016," U.S. Energy Information Administration (EIA), Washington, 2016.
- [2] R. Choudhary A.M. Rysanek, "Optimum building energy retrofits under technical and economic uncertainty," *Energy and Buildings*, vol. 57, pp. 324–337, 2013.
- [3] J. Zhang, X. Xia E. M. Malatji, "A multiple objective optimisation model for building energy efficiency investment decision," *Energy and Buildings*, vol. 61, pp. 81–87, 2013.
- [4] M. G. da Silvab, C. H. Antunesc, L. Diasc, L. Glicksmanfa E. Asadia, "Multi-objective optimization for building retrofit: A model using genetic algorithm and artificial neural network and an application," *Energy and Buildings*, vol. 81, pp. 444–456, 2014.
- [5] A. Pradaa, F. Cappellettib, A. Gasparella P. Pennaa, "Multi-objectives optimization of Energy Efficiency Measures in existing buildings," *Energy and Buildings*, 2014.
- [6] E. Grigoroudis, D. Kololotsa, K. Kalaitzakis, G. Stavrakakis C. Diakaki, "Towards a multi-objective optimization approach for improving energy efficiency in buildings," *Energy and Buildings*, vol. 40, pp. 1747–1754., 2008.
- [7] S. Asadi, Z.W. Geem M. Fesanghary, "Design of low-emission and energy-efficient residential buildings using a multi-objective optimization algorithm," *Building and Environment*, vol. 49, pp. 245–250, 2012.
- [8] P. Geyera, W. Langa Y. Shao, "Integrating requirement analysis and multi-objective optimization for office building energy retrofit strategies," *Energy and Buildings*, vol. 82, pp. 356–368, 2014.