

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Marđetko, Š., 2016. Optimizacija izbire ukrepov vzdrževanja za obstoječo stanovanjsko stavbo. Magistrsko delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Šelih, J.): 65 str.

Datum arhiviranja: 18-11-2016

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Marđetko, Š., 2016. Optimizacija izbire ukrepov vzdrževanja za obstoječo stanovanjsko stavbo. Master Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Šelih, J.): 65 pp.

Archiving Date: 18-11-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500
faks (01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

**MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM DRUGE STOPNJE
GRADBENIŠTVO
SMER NIZKE GRADNJE**

Kandidatka:

ŠPELA MARĐETKO

**OPTIMIZACIJA IZBIRE UKREPOV VZDRŽEVANJA ZA
OBSTOJEČO STANOVANJSKO STAVBO**

Magistrsko delo št.: 37/II.GR

**OPTIMIZATION OF THE SELECTION OF MEASURES
FOR MAINTENANCE OF AN EXISTING RESIDENTIAL
BUILDING**

Graduation – Master Thesis No.: 37/II.GR

Mentorica:
prof. dr. Jana Šelih

Ljubljana, 28. 10. 2016

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Spodaj podpisana študentka Špela Marđetko, vpisna številka 26410143, avtorica pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Optimizacija izbire ukrepov vzdrževanja za obstoječo stanovanjsko stavbo.

IZJAVLJAM

1. Obkrožite eno od variant a) ali b)

a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;

b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V/Na: Ljubljana

Datum: 27. 9. 2016

Podpis študenta/-ke:

BIBLIOGRAFSKKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK	69.059.25:728.3(043.3)
Avtor	Špela Marđetko
Menor	prof. dr. Jana Šelih
Naslov	Optimizacija izbire ukrepov vzdrževanja za obstoječo stanovanjsko stavbo
Tip dokumenta	Magistrsko delo
Obseg in oprema	65 str., 14 pregl., 23 sl., 8 en.,
Ključne besede	obnova, večkriterijske metode odločanja, kriteriji, optimizacija, enodružinska stavba

Izvleček

Obnova starejše stavbe ni nič manj zahtevna kot novogradnja, saj je potrebno interdisciplinarno delo različnih strokovnjakov, veliko znanja in izkušenj. Pogosto je sanacija objektov bolj zaželena kot njihova odstranitev, kar pomeni, da se obseg sanacijskih del na stanovanjskih stavbah vsakoletno povečuje v vseh razvitih državah. Namen je doseči čim bolj ustrezno obnovo, zato moramo pri načrtovanju obnove in sanacijskih ukrepov uporabljati racionalne pristope in metode. Pri tem pa se je potrebno zavedati, da so razpoložljiva finančna sredstva po navadi vedno omejena.

Magistrsko delo predstavlja racionalno računalniško podprto orodje za izbiro optimalnega niza ukrepov iz celotnega skupka možnih ukrepov obnove. Orodje upošteva pri vrednotenju posameznih ukrepov več različnih kriterijev in določa skupno korist izbranega niza. Izdelano orodje temelji na optimizaciji večkriterijske metode odločanja (»multi-criteria decision-method« - MCDM) s pomočjo metode nahrbtnika (»knapsack problem«). Na osnovi teoretične podlage metode je v magistrskem delu predstavljen primer, ki preverja uporabnost izdelanega orodja na primeru obnove enodružinske hiše. Študija izbranega primera kaže, da je izdelano orodje lahko uspešen pripomoček pri izbiri niza ukrepov obnove pri dani finančni omejitvi. Glede same relativne pomembnosti vidikov pa se projektant ali investitor odločata sama.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC	69.059.25:728.3(043.3)
Author	Špela Mardetko
Supervisor	Associate Prof. Jana Šelih, Ph. D.
Title	Optimization of the selection of measures for maintenance of an existing residential building
Document type	M. Sc. Thesis
Notess	65 p., 14 tab., 23 fig., 8 eq.
Keywords	reconstruction, multi-criteria decision-making methods , criteria , optimization, family building

Abstract

Renovating an older building is not any less complicated than building a new one, as it requires an interdisciplinary work of different experts, lots of knowledge and experience. Renovation of facilities is often more desired than their removal, which means that the extent of the renovation work on residential buildings annually increases in all developed countries. The goal of the thesis is therefore to find the most suitable form of renovation, and that's why we have to use rational approaches and methods when planning restoration and reconstruction works. Further, it is always necessary to take into account that available financial assets are usually limited.

This Master's thesis presents a rational tool for choosing the optimal set of measures from the entire range of possible renovation measures. When evaluating, this selection tool takes into consideration several different criteria and determines accumulated benefit of the chosen set. The tool is based on optimization of "multi-criteria decision-method" (MCDM) with the help of "knapsack problem" method. Based on the theoretical basis of the method, this thesis deals with a case study where usefulness of this tool is verified on a case study example of restoration of a family house. The study shows that this tool can be a useful widget for choosing the appropriate set of measures for the given financial constraint. The criteria taken into the account have various relative importances that need to be determined by appropriate methods, such as Analytical Hierarchical Process.

ZAHVALA

Za pomoč in strokovne nasvete pri izdelavi magistrske naloge se iskreno zahvaljujem mentorici prof. dr. Jani Šelih.

Posebna zahvala gre celotni moji družini, ki mi je omogočila študij, me podpirala in mi ves čas šolanja stala ob strani.

KAZALO VSEBINE

IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA.....	V
1 UVOD	1
2 CILJ IN NAMEN MAGISTRSKE NALOGE.....	2
3 TRAJNOSTNI RAZVOJ IN TRAJNOSTNA GRADNJA	3
4 ŽIVLJENJSKA DOBA GRADBENEGA OBJEKTA.....	7
4.1 Načrtovanje življenjske dobe v posameznih fazah projektiranja.....	8
4.2 Specifikacije.....	10
4.3 Karakterizacija okolja	10
4.4 Načrt vzdrževanja	11
4.5 Zahteve za obnašanje in sprejemljivost.....	12
5 TEORETIČNE OSNOVE IZBIRE UKREPOV OBNOVE	13
5.1 Večkriterijske metode odločanja	13
5.2 Metoda nahrbtnika.....	20
5.3 Izbira kriterijev za ocenjevanje	23
6 PREDSTAVITEV OBSTOJEČEGA OBJEKTA	27
6.1 Splošna predstavitev stanovanjskega objekta.....	27

7	UKREPI OBNOVE OBRAVNAVANEGA OBJEKTA	33
7.1	Zakonodaja o energetske učinkovitosti objekta	33
7.2	Izbrani ukrepi obnove	34
7.3	Izračun	38
7.4	Izbor ukrepov in skupna dosežena korist pri nizkem finančnem vložku	54
8	ANALIZA ŽIVLJENJSKEGA CIKLA – LCA.....	56
8.1	Splošno	56
8.2	Prednosti uporabe LCA.....	57
8.3	Omejitve pri uporabi LCA.....	58
8.4	Vključitev metode LCA v prelagani model odločanja.....	58
9	ZAKLJUČEK.....	59
VIRI		61

Kazalo preglednic

Preglednica 1: Lestvica relativnih pomembnosti, uporabljenih v metodi Analitičnega Hierarhičnega Procesu, AHP (Alanne, 2004)	17
Preglednica 2: Povezava med definicijo koristi in kvantitativnimi prilagojenimi vrednostmi (Alanne, 2004)	18
Preglednica 3: Spisek ukrepov obnove s pripadajočimi cenami ter okoljsko F_o , funkcionalno F_f in estetsko F_e oceno vseh ukrepov.....	35
Preglednica 4: Cenik za izdelavo strehe (Topdom, 2016)	36
Preglednica 5: Relativna pomembnost kriterijev – načini ponderiranja	40
Preglednica 6: Rezultati odločanja glede na okoljski kriterij.....	41
Preglednica 7: Rezultati odločanja glede na funkcionalni kriterij.....	43
Preglednica 8: Rezultati odločanja glede na estetski kriterij	44
Preglednica 9: Rezultati odločanja glede na funkcionalni in estetski kriterij.....	46
Preglednica 10: Rezultati odločanja glede na okoljski in estetski kriterij	47
Preglednica 11: Rezultati odločanja glede na okoljski in funkcionalni kriterij	49
Preglednica 12: Rezultati odločanja v primeru, kjer je okoljski kriterij pomembnejši kot ostala dva kriterija	50
Preglednica 13: Rezultati odločanja glede na enakovredne kriterije	52
Preglednica 14: Rezultati odločanja, kjer ima okoljski kriterij največjo pomembnost pri nizkem finančnem vložku	54

Kazalo slik

Slika 1: Shematičen prikaz medsebojne povezanosti gospodarstva, družbe in okolja (Ott, 2003)	3
Slika 2: Shematičen prikaz življenjske dobe in upadanja ravni obnašanja (performansa) gradbenega objekta (Šelih, 1996)	7
Slika 3: Prikaz procesa napovedovanja življenjske dobe v fazi projektiranja (ISO 15686-1, 2000)	9
Slika 4: Ciklični, ponavljajoči odločitveni proces v konceptualni fazi projektiranja (Alanne, 2004)	15
Slika 5: Drevesna struktura modela kriterijev in podkriterijev (Alanne, 2004)	16
Slika 6: Prikaz drevesa kriterijev za primer obnove stanovanjske stavbe	27
Slika 7: Vzhodna in severna fasada obravnavane hiše	28
Slika 8: Zahodna in severna fasada obravnavane hiše	28
Slika 9: Južna fasada obravnavane hiše	29
Slika 10: Tloris pritličja	30
Slika 11: Tloris nadstropja	31
Slika 12: Stanje pred prenovo strehe leta 2012	32
Slika 13: Prenova strehe in povečanje frčade leta 2012	32
Slika 14: Programsko orodje Solver (Reševalnik)	39
Slika 15: Delne koristi ukrepov glede na okoljski kriterij	42
Slika 16: Delne koristi ukrepov glede na kriterij funkcionalnosti	44
Slika 17: Delne koristi ukrepov glede na estetski kriterij	45
Slika 18: Delne koristi ukrepov glede na funkcionalni in estetski kriterij	47
Slika 19: Delne koristi ukrepov glede na okoljski in estetski kriterij	48
Slika 20: Delne koristi ukrepov glede na okoljski in funkcionalni kriterij	50
Slika 21: Delne koristi ukrepov v primeru, kjer je okoljski kriterij pomembnejši kot ostala dva kriterija	51
Slika 22: Delne koristi ukrepov glede na enakovredno vrednotenje kriterijev	53

Slika 23: Delne koristi ukrepov pri nizkem finančnem vložku, kjer je okoljski kriterij pomembnejši kot ostala dva kriterija 55

1 UVOD

Prenova stavb je v urbanem urejanju in arhitekturnem oblikovanju ena izmed najširših projektantskih dejavnosti. Prenove so potrebne vse poškodovane in/ali funkcionalno neustrezne stavbe, prav tako kot posebno vredne in zaščitene stavbe. Ker so se v zgodovinskem razvoju stavbe nenehno spreminjale in prenavljale, lahko rečemo, da gre za zelo staro dejavnost. Rekonstrukcija starejših objektov je bila v drugi polovici prejšnjega stoletja sicer zapostavljena, saj je večina starih stavb izgubila vrednost zaradi mišljenja, da velja le tisti, ki zgradi novo hišo. Tako je bilo veliko kakovostnih objektov zaradi tega mišljenja porušeni. Dandanes se vrednote postopoma spreminjajo, najverjetneje tudi zaradi mednarodnih usmeritev, ki dajejo prednost prenovi v razvojnem urejanju prostora. Dokazano je, da je prenova objektov okolju prijazna ter v skladu z načeli trajnostnega razvoja, saj z njo recikliramo prostor in v gradbeni objekt vgrajene materiale (Deu, 2005).

Obnove starejših stanovanjskih stavb se stanovalci lotijo zaradi več možnih razlogov: dotrajanost posameznih delov stavbe, povečanje energijske učinkovitosti, posodobitev, izboljšanje bivalnih pogojev ... Večina teh stavb porabi ogromno energije in posledično tudi bivanje v njih ni niti udobno niti zdravju prijazno. Tudi za ogrevanje porabijo stanovalci ogromno energije, ki pa postaja vedno dragocenejša in dražja. Zato je potrebno povečati energijsko učinkovitost stavb in zmanjšati porabo energije v stavbah. Veliko pozornost je treba nameniti tudi tistim ukrepom, ki največ prispevajo k celoviti obnovi obstoječih stavb in izboljšajo bivalne prostore.

Po Zakonu o graditvi objektov je vzdrževanje izvedba del, s katerimi se objekt ohranja v dobrem stanju in omogoča njegova uporaba, obsega pa redno vzdrževanje in vzdrževalna dela v javno korist. Pod redno vzdrževanje spada izvedba investicijsko vzdrževalnih del, gradbenih, inštalacijskih in obrtniških del, ter izboljšav in popravil, ki so v koraku z napredkom tehnike. S temi deli se ne posega v nosilno konstrukcijo objekta, ne spreminja se njegova namembnost in ne zmanjšuje se ravni izpolnjevanja bistvenih zahtev. V nasprotnem primeru se lahko pri vzdrževalnih delih v javno korist spremeni zmogljivost objekta in z njo povezana njegova velikost z namenom zagotavljanja opravljanja določene vrste gospodarske javne službe, kar pa je določeno v posebnem zakonu ali predpisu (ZGO-1, 2004).

2 CILJ IN NAMEN MAGISTRSKE NALOGE

Cilj naloge je ovrednotiti izbrano prenovu oziroma skupek ukrepov, ki so potrebni za prenovu izbranega objekta z vidika investitorja in uporabnika. Izdelati je potrebno popis ukrepov ter njihovo vrednost stroškovno ovrednotiti. Hkrati pa je potrebno vedeti, da so razpoložljiva finančna sredstva omejena ter da je z njimi potrebno ravnati kar se da racionalno. V magistrskem delu ocenjujemo koristi, pridobljene s prenovno izbranega objekta, s funkcionalnega, estetskega in okoljskega vidika ter zmanjšanja stroškov ogrevanja, ki je ena od komponent okoljskega izboljšanja.

Namen naloge je torej izdelati racionalno računalniško podprto orodje, s katerim izberemo kar najbolj učinkovit skupek sanacijskih ukrepov iz dane množice ukrepov, glede na kriterije, ki smo jih izbrali vnaprej. To pomeni, da izberemo iz nabora prej identificiranih ukrepov tiste, ki rezultirajo v največji skupni koristi, pri čemer so skupni stroški prenove omejeni. Pri tem izberemo orodje, ki temelji na optimizaciji večkriterijske metode odločanja (»multi-criteria decision-method« - MCDM) s pomočjo metode nahrbtnika (»knapsack problem«) (Vianna, Vianna, 2013).

3 TRAJNOSTNI RAZVOJ IN TRAJNOSTNA GRADNJA

Trajnostni razvoj je definiran kot »razvoj, ki zadovoljuje potrebe sedanjosti, ne da bi ogrozil možnosti prihodnjih generacij, da zadovoljijo svoje potrebe« (Our common future, 1978). Področje trajnostnega razvoja je mogoče konceptualno razdeliti na tri sestavne dele: okoljskega, gospodarskega in družbenega.



Slika 1: Shematičen prikaz medsebojne povezanosti gospodarstva, družbe in okolja (Ott, 2003)

Pri zagotavljanju trajnostnega razvoja ima pomembno vlogo gradbeni sektor kot ustvarjalec grajenega okolja. Ena od vodilnih mednarodnih organizacij za R&R sodelovanje na področju gradbeništva in grajenega okolja CIB (Conseil International des Bâtiments, slov. Mednarodni svet za stavbe) (Kocjančič, 2006) je že zgodaj prepoznala pomembnost okoljskih vprašanj, temu pa je sledila vrsta aktivnosti.

Leta 1995 se je ta organizacija odločila, da bo trajnostna gradnja (angl. »sustainable construction«) osrednja točka sledečega triletnega obdobja, posledica tega pa je bila izvedba Svetovnega gradbenega kongresa v mestu Gävle (Švedska), leta 1998. Glavna tema kongresa je bila »gradnja in okolje«. Rezultat omenjenega kongresa je dokument z naslovom »Agenda 21 on sustainable construction«, ki je izšel leta 1999 (Kocjančič, 2006).

Trajnostni razvoj interpretirajo v različnih državah oz. delih sveta različno. Razlike se kažejo predvsem med državami z razvitim gospodarstvom, gospodarsko srednje razvitimi državami in državami v razvoju. V razvitih državah stremijo k izboljšanju trajnostnega vidika obstoječega stanovanjskega fonda z obnovo, ter k razvoju novih materialov in uporabi novih, okolju

prijaznejših tehnologij gradnje. Podatki Evropskega patentnega urada kažejo, da se število patentov na področju zelenih gradbenih tehnologij v zadnjih 15 letih strmo povečuje (<https://www.epo.org/news-issues/technology/sustainable-technologies/green-construction.html>, 2016). Na drugi strani pa skušajo države v razvoju zagotavljati družbeno enakost in ekonomski vidik trajnostnega razvoja. Posledica tovrstnih naporov je razvoj gradbenih tehnologij, ki omogočajo izgradnjo stroškovno ugodnejšega stanovanjskega fonda in potrebne infrastrukture (Kocjančič, 2006).

V gradbeništvu se je skozi čas razumevanje pojma »trajnostni razvoj« spreminjalo. Ob začetku uporabe tega pojma, je bila največja pozornost usmerjena predvsem na racionalni izrabi zlasti tistih virov, ki so omejeni (npr. energija, naravne surovine, ...). Poleg tega je bil poudarek predvsem na temu, kako bi vpliv gradnje in že zgrajenih objektov čim manj vplivala na naravno okolje. Prav tako je bil velik poudarek na sami gradnji objektov; raziskave so se osredotočale na identifikacijo in izbiro najbolj (okoljsko) primernih materialov in gradbenih komponent, pa tudi na samo tehnologijo gradnje in projektiranje. Navedene aktivnosti zagotavljajo predvsem energetska učinkovitost stavbe oz. objekta.

Dandanes postajajo sestavni deli trajnostnega razvoja enako pomembni, in sicer dobivata ekonomska in družbena komponenta enako pomembnost kot tehnični vidik. Razlog je v tem, da v gradbeništvu v smislu zagotavljanja trajnostnega razvoja niso pomembni le tehnični vidiki, temveč prihajajo v ospredje tudi »mehki vidiki«, ki imajo prav tako odločilno funkcijo.

Zaključimo lahko, da so si pri zagotavljanju trajnostne gradnje vse tri komponente trajnostnega razvoja (okoljska, gospodarska in družbena) enakovredne. Na tem mestu pa je smiselno izpostaviti vprašanje oziroma posebno pozornost tudi kulturni dediščini in trajnostnemu gospodarjenju s tovrstnimi objekti (Agenda 21, 1999).

V nadaljevanju so predstavljeni glavni izzivi in vprašanja v zvezi s trajnostno gradnjo, povzeti po dokumentu Agenda 21 (Agenda, 1999).

- ❖ **Management** je eden ključnih vidikov trajnostne gradnje. Ta pojem ne zajema le vprašanj v zvezi z gradnjo objektov, temveč tudi vprašanja s področja prava, gospodarstva, politike in družbe. Skozi celoten potek gradnje je udeleženih mnogo strokovnjakov, za katere je značilno, da se njihovi interesi pogosto križajo. Znotraj tega vidika je potrebno obravnavati naslednja področja: upravljanje s človeškimi viri, optimizacija procesov odločanja, pogoji investitorjev, okoljska kakovost gradnje, nova

znanja, spoznavanje javnosti, re-inženiring procesa graditve in standardi ter zakonodaja.

- ❖ **Vidik gradbenega proizvoda in objekta (ter njuna povezanost)** obravnava področje vezano na lastnosti gradbenih objektov ter gradbenih proizvodov in teži k čim boljšemu obnašanju le-teh v zagotavljanju trajnostnega razvoja. To področje se ukvarja predvsem z vprašanji v zvezi z v objekt vgrajeno količino neobnovljivih materialnih in energetskih virov, o znižanih emisijah, ki so posledica proizvodnje in uporabe izboljšanih proizvodov. Poleg tega se ukvarja s področjem recikliranja proizvodov. Pri tem vidiku je pomembno, da izboljšamo tudi kakovost notranjega okolja (angl. Indoor Environment Quality) in sicer tako, da s tem načrtujemo in gradimo zdravju in uporabnikom prijazne notranje bivalne prostore, ki kot taki pozitivno vplivajo na produktivnost stanovalcev.
- ❖ **Raba naravnih virov** je vidik, ki je za gradbeništvo zelo pomemben. Med skupek izzivov, ki so vezani na porabo energije, spadajo: učinkovita raba energije, temeljito načrtovanje rekonstrukcije in potreba po transportu. Za ohranjanje funkcije okolja, ki zagotavlja življenje in zmanjšanje uporabe mineralnih virov je zahtevana uporaba obnovljivih virov ter natančna izbira materialov in napovedovanje življenjske dobe gradbenega objekta. V mnogih državah upravljanje zemljišč vpliva na gradnjo. Posledično je s tem vidikom povezana lokacija zemljišča in njegova uporaba, kakor tudi izraba zemljišč za proizvodnjo gradbenih proizvodov in materialov.
- ❖ **Vpliv gradnje na trajnosten (urban ali ruralen) razvoj** je vidik, ki potrebuje ogromno pozornosti. Grajeno – urbano ali ruralno - okolje, ki ga ustvarjamo, mora zadovoljevati potrebam prihodnjih generacij in je ena izmed pomembnejših panog gospodarskega razvoja in družbenega blagostanja. Skupnost ljudi, ki so gospodarsko medsebojno povezani, potrebuje za svoje delovanje infrastrukturo, različne vrste stavb ter industrijskih objektov. Pomembna je predvsem kakovost okolja, v katerem živimo, ter bivalni in delovni prostori.
- ❖ **Družbeni, kulturni in ekonomski vidiki** predstavljajo zadnje, vendar ne najmanj pomembno področje, ki ga obravnava dokument Agenda 21. Gradbeništvo je gospodarska panoga, ki ogromno doprinese k družbeno-ekonomskemu razvoju posamezne države ali regije. To pomeni, da lahko zagotavljanje trajnostne gradnje zelo prispeva k izboljšanju službenega okolja, racionalni delitvi družbenih stroškov ter

odpravi revščine. Poleg tega lahko doprinese boljše možnosti za zaposlitev, pridobitev ekonomskih ugodnosti in družbene koristi (Agenda, 1999).

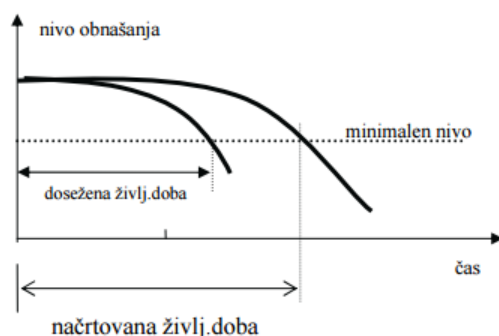
4 ŽIVLJENJSKA DOBA GRADBENEGA OBJEKTA

Proces načrtovanja življenjske dobe in vzdrževanja objekta je pomembno tako pri novogradnji kot pri sanaciji stanovanjskih stavb in tudi drugih gradbenih objektov. V idealnem primeru se načrtovanje življenjske dobe in vzdrževanje objekta upošteva že v procesu projektiranja novogradnje; pri tem pa kot osnovo uporabimo standard ISO 15686-1 (2000). Temu sledita tudi vzdrževanje in obnova, saj lahko plane za te dejavnosti prav tako izdelamo že pred pričetkom gradnje.

V primerih obstoječih stanovanjskih objektov, ki so bili zgrajeni v drugi polovici prejšnjega stoletja in pod katere spada tudi stanovanjska stavba, ki jo v nadaljevanju magistrske naloge obravnavamo, je nemogoče pričakovati, da bi bilo načrtovanje življenjske dobe izvedeno že v fazi projektiranja. Lahko pa enake postopke, ki bi jih uporabili že pred pričetkom novogradnje, uporabimo tudi pri načrtovanju obnove starejših gradbenih objektov. Prav zaradi tega so v nadaljevanju predstavljene osnove načrtovanja življenjske dobe objekta v skladu s standardom ISO 15686-1 (2000).

Navadno definiramo življenjsko dobo gradbenega objekta kot »časovno obdobje, med katerim izkazuje konstrukcija zadosten nivo obnašanja oz. performansa, ki je določen s primerno uporabnostjo, varnostjo in izgledom« (Durable concrete structures, 1992) (Šelih, 1996) (Kocjančič, 2006). Zakon o gradbenih proizvodih obravnava življenjsko dobo za časovno obdobje, v katerem morajo biti izpolnjene bistvene zahteve za gradben objekt.

Na sliki 2 je shematično prikazana življenjska doba in upadanje ravni obnašanja gradbenega objekta s časom. V primeru, če se nivo obnašanja zmanjša pod minimalen nivo pred iztekom načrtovane življenjske dobe, lahko z obnovo vrnemo nivo obnašanja na zadovoljivo raven.



Slika 2: Shematičen prikaz življenjske dobe in upadanja ravni obnašanja (performansa) gradbenega objekta (Šelih, 1996)

4.1 Načrtovanje življenjske dobe v posameznih fazah projektiranja

Standard ISO 15686-1 (2000) nudi smernice, kako načrtovati življenjsko dobo objekta v konsektivnih fazah, ko sledi: v fazi programskih zasnov, konceptualnem projektiranju, detajlnem projektiranju in napovedovanju življenjske dobe (obravnavanega) objekta. Faze na kratko predstavljamo v nadaljevanju.

Faza programskih zasnov

Bistvo te faze je, da investitor in projektant dosledno definirata temeljne cilje in zahteve načrtovanja življenjske dobe, ki vključujejo:

- nivo obnašanja komponent gradbenega objekta v tem obdobju in načrtovano življenjsko dobo objekta;
- določene kriterije merjenja nivoja obnašanja in najnižji nivo sprejemljivosti, pod katerim sledi zamenjava komponent;
- spisek komponent in sklopov komponent, ki bodo v načrtovani življenjski dobi stavbe deležni obnove oziroma zamenjave (Kocjančič, 2006).

Faza v začetku projektiranja

V tej fazi morajo strokovnjaki preveriti:

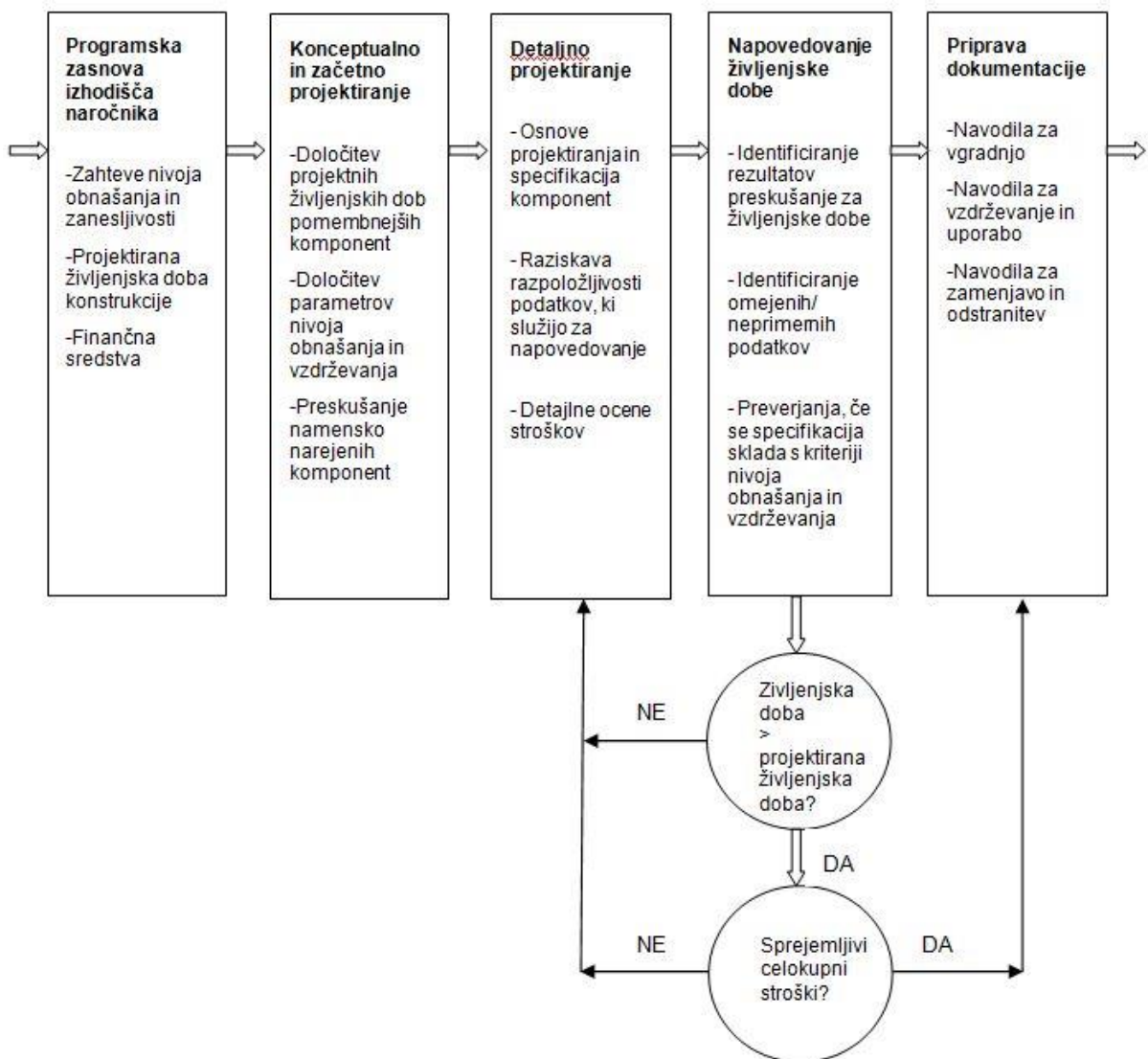
- če je mogoče doseči načrtovano življenjsko dobo znotraj projektnih omejitev (npr. finančna omejitev, čas, funkcionalnost, zahteve vzdrževanja in posebnosti lokacije gradnje);
- če je projekt v skladu z zahtevami za nivo obnašanja, ki jih je v prejšnji fazi definirala investitor;
- če bo v času obnove, zamenjave in/ali nadgradnje objekt možno uporabljati.

Detajlno projektiranje

Ta faza vključuje natančno izbiro materialov in komponent. Prav zaradi tega, ker se delovanje komponent s časom poslabša, je njihova izbira toliko bolj pomembna. Kakovost se poslabša zaradi:

- vplivov okolja, vključno z reakcijami na stikih med materiali in/ali komponentami,

- projektiranja objekta, detajlnega načrtovanja komponent in vgraditve komponent,
- materialov,
- kakovosti izvajanja gradbenih del,
- vzdrževanja in
- uporabe objekta (Šelih, 1996) (Kocjančič, 2006).



Slika 3: Prikaz procesa napovedovanja življenjske dobe v fazi projektiranja (ISO 15686-1, 2000)

Opomba: V standardu je uporabljen izraz »komponenta«, ki je definirana kot »proizvod«, in sicer gre izdelek kot samostojna enota, z eno ali večimi specifičnimi funkcijami. Opozarjamo, da je izraz ožji kot »gradben proizvod«, ki je uporabljen v Zakonu o gradbenih proizvodih.

4.2 Specifikacije

Propadanje materialov in komponent povzročajo agresivni vplivi iz okolja, na katere pa vsak izmed materialov ali komponent različno reagira. Projektanti lahko preverijo primernost njihove uporabe s pomočjo rezultatov preskušanj, ki jih prejmejo od proizvajalcev. Ob tem velja opozoriti, da lahko s pomočjo projektiranja posameznih komponent materialov znatno vplivamo na odpornost proti propadanju (pri čemer jo lahko tako izboljša kot poslabša).

Navadno nudijo proizvajalci materialov in komponent svojim kupcem veliko znanja o delovanju in obnašanju svojih izdelkov. Primarno gre za zahteve, ki jih določajo za proizvod relevantni standardi. Najbolj optimalno bi bilo, če bi imeli proizvajalci natančne podatke o prostoru oz. okolju, ki mu bo projektirani objekt izpostavljen, podatke o predpisanem nivoju obnašanja ter o dejavnikih, ki povzročajo propadanje objekta. V takšnem primeru bi lahko dobljene rezultate preskušanj uporabili za napovedovanje življenjske dobe objekta. V kolikor pa proizvajalci navedenih podatkov nimajo, življenjske dobe objekta ne morejo napovedati.

Pomembno je, da pogoji okolja pri gradnji, materiali in komponente, lokalne razmere, izurjenost delavcev in nivo strokovnosti zadoščajo priporočilom proizvajalca ali strokovnih standardov. V nasprotnem primeru je smiselno te spremembe upoštevati in pri načrtovanju življenjske dobe določiti njihov vpliv. Če pa je že vnaprej znano, da pogoji vgradnje materialov in komponent ne bodo optimalni, je bolje uporabiti konvencionalne komponente, to je komponente, katerih obnašanje je dobro poznano (Kocjančič, 2006). Z le-temi imamo dolgoročne izkušnje in niso občutljive na spremembe, do katerih lahko pride zaradi načina vgradnje (Šelih, 1996).

4.3 Karakterizacija okolja

Okolje, v katerem se objekt nahaja, je unikatno in prav zaradi tega ga moramo opredeliti za vsak primer posebej. Priporočljivo je definirati vse negativne lastnosti okolja in preveriti, kako bodo te lastnosti delovale na objekt, materialen in komponente. Skladno s standardom ISO 15686-1 ločimo naslednje skupine vplivov okolja: mehanske, elektromagnetne, toplotne, kemične in biološke.

Če je konstrukcija izpostavljena konstantno ekstremnim pogojem, je verjetnost za propadanje večja, kot če gre za povprečno intenzivnost oziroma koncentracijo dejavnikov, ki povzročajo propadanje. Prav tako na propadanje konstrukcije vplivajo ciklična spreminjanja med stanji (npr. izmenjujoče se zmrzovanje in odtaljevanje) in njihova pogostost (Kocjančič, 2006).

4.4 Načrt vzdrževanja

Standard ISO 15686-1 (2000) opredeljuje več vrst vzdrževanja na:

- ponavljajoče se vzdrževanje (*»cyclic maintenance«*) – npr. občasno beljenje;
- vzdrževanje, ki temelji na dejanskem stanju objekta in je posledica trenutnega slabega stanja objekta (*»condition-based maintenance«*) – v primeru, da del objekta ali celoten objekt kaže znake nesprejemljivega obnašanja;
- velike obnove/rekonstrukcije (*»major refurbishment«*) – vzdrževanje, v katerega je potrebno investirati.

Načrt vzdrževanja je mogoče izdelati že v fazi projektiranja, in sicer v obliki preglednice, v kateri so določeni časi zamenjave komponent. Pogoj za izdelavo takšne tabele pa je poznavanje in upoštevanje ustreznih življenjskih dob vseh komponent in pripadajočih podkomponent. S tem racionaliziramo planiranje sanacijskih ukrepov in stroškov ter olajšamo delo vzdrževalcem, saj so v tej fazi že določena obnovitvena dela in ponavljajoča se vzdrževanja, vključno z vrstami in obsegom vseh del. Načrt vzdrževanja daje smernice za vzdrževanje ter s tem olajša delo vzdrževalcu objekta. Ob tem je nujno potrebno poudariti, da pa v vseh primerih sanacijskih ukrepov vnaprej ni mogoče določiti in predvideti.

Nekatera obnovitvena dela je mogoče napovedati vnaprej. Mednje sodijo:

- sprememba notranjega estetskega videza;
- sprememba razporeditve prostorov;
- zamenjava neprepustnega sloja na strehi (verjetnost tega ukrepa je odvisna od projektirane življenjske dobe zgradbe in tipične kritine);
- zamenjava električnih ali drugih inštalacij (kar je zelo verjetno za večino objektov);
- predelava podzemnih drenaž (zelo redko - v primeru razširitve objekta ali spremembe namembnosti);
- delna odstranitev in/ali zamenjava nosilnih elementov (običajno je ta ukrep potreben med sanacijami ali nadgradnjo) (Šelih, 1996) (Kocjančič, 2006).

4.5 Zahteve za obnašanje in sprejemljivost

Stanovanjske objekte, njihove komponente in pod-komponente označimo (glede na njihovo funkcijo in trajnost) kot zamenljive ali kot trajne. Če pogledamo primer tipične stavbe z dolgo življenjsko dobo, lahko rečemo, da bi bilo nesmiselno oziroma nemogoče, da bi imela stavba vse »trajne« komponente z nespremenjenim nivojem obnašanja med svojo življenjsko dobo. Zaradi tega so bolj primerne zamenljive komponente, saj je njihovo vzdrževanje mogoče napovedati in načrtovati vnaprej. Primer (zamenljive) komponente z znano življenjsko dobo, ki jo poda proizvajalec, so na primer okna.

Kadar začnejo propadati nezamenljive komponente in v redkih primerih tudi zamenljive komponente, je življenjska doba stanovanjskega objekta omejena. Omejena je tudi v primeru, ko so stroški obnove/vzdrževanja izredno visoki, saj tedaj ti ukrepi niso finančno upravičeni. Življenjska doba je omejena tudi v primeru, ko zaradi varnosti določenih sanacijskih ukrepov ni mogoče izvesti ali pa je onemogočena normalna uporaba objekta zaradi izvedbe teh ukrepov.

Propadanju objektov se najbolj učinkovito zoperstavimo z vzdrževanjem, kar vključuje zamenjavo komponent. Eliminacijo nepredvidljivih zamenjav komponent (v prihodnosti) lahko dosežemo tako, da upoštevamo in ovrednotimo vplive predvidljivih mehanizmov propadanja. Tako se izognemo neustreznim projektiranjem objektov v prihodnosti.

Minimalni nivo kritičnih lastnosti pomembnih komponent se točno določi v zgodnjih fazah projektiranja. Pri planiranju življenjske dobe je pomembno oceniti, kdaj bo določena komponenta objekta potrebna zamenjave, to pomeni, da bo dosegla nivo kritičnega funkcionalnega obnašanja. Zato je smiselno, da investitor vnaprej pove, katere komponente so pomembne in imajo bistveno funkcijo v objektu. Pomembno vlogo imajo v tem primeru aktivnosti, ki se bodo izvajale v stavbi.

V primeru dokončne odpovedi komponent je lahko, odvisno od vrste komponente, najbolj ogroženo zdravje uporabnikov in njihova varnost. Zato je smiselno odpovedi komponent razvrstiti glede na posledice, ki jih odpovedi pustijo. V primerih kritične odpovedi je smiselno projektiranje daljše življenjske dobe ali pa izvajanje pogostejših pregledov in vzdrževalnih režimov.

5 TEORETIČNE OSNOVE IZBIRE UKREPOV OBNOVE

5.1 Večkriterijske metode odločanja

S procesom odločanja se ljudje srečujemo skoraj vsakodnevno in na praktično vseh področjih našega delovanja. Gre za aktivnost, s katero rešujemo probleme, ki so lahko enostavni ali pa bolj komplicirani. Enostavne osebne odločitve so po navadi rutinske in se jih mnogokrat sploh ne zavedamo, na drugi strani pa imamo zahtevne probleme skupinskega odločanja, ki nastanejo pri vodenju, upravljanju in planiranju v podjetjih, kadrovskemu odločanju in diagnostiki (Bohanec, 2006).

Dandanes v zahtevnih primerih navadno rešujemo probleme s pomočjo orodij sodobne komunikacijske tehnologije (ICT), saj gre za proces odločanja, pri katerem se odločamo na osnovi velikega števila znanih informacij.

Proces odločanja je skupek aktivnosti, ki vodijo do izbire alternative, med katere spadajo:

- spoznavanje in opredelitev odločitvenega problema (ob tem velja pripomniti, da je v to fazo vredno investirati čas in/ali energijo deležnikov, saj sicer vsi nadaljnji koraki vodijo v napačno smer);
- zbiranje in preverjanje informacij;
- identifikacija alternativ;
- predvidevanje posledic odločitev;
- odločitev, to je izbira alternative na osnovi presoje, osnovane na zbranih informacijah;
- obveščanje o odločitvi in razlogih zanjo;
- vrednotenje odločitev (Bohanec, 2006).

Pri odločanju se lahko srečamo z naslednjimi problemi:

- veliko število dejavnikov, ki vplivajo na odločitev;
- številne oziroma slabo definirane ali slabo poznane alternative;
- zahtevno in pogosto nepopolno poznavanje odločitvenega problema in ciljev odločitve;
- možnost nepredvidenih dogodkov, ki jih ni mogoče nadzorovati in ki povečujejo negotovost odločitve;
- udeležba več odločevalcev, ki imajo nasprotujoče si cilje, in
- omejitve časa in drugih virov za izvedbo odločitvenega procesa (Bohanec, 2006).

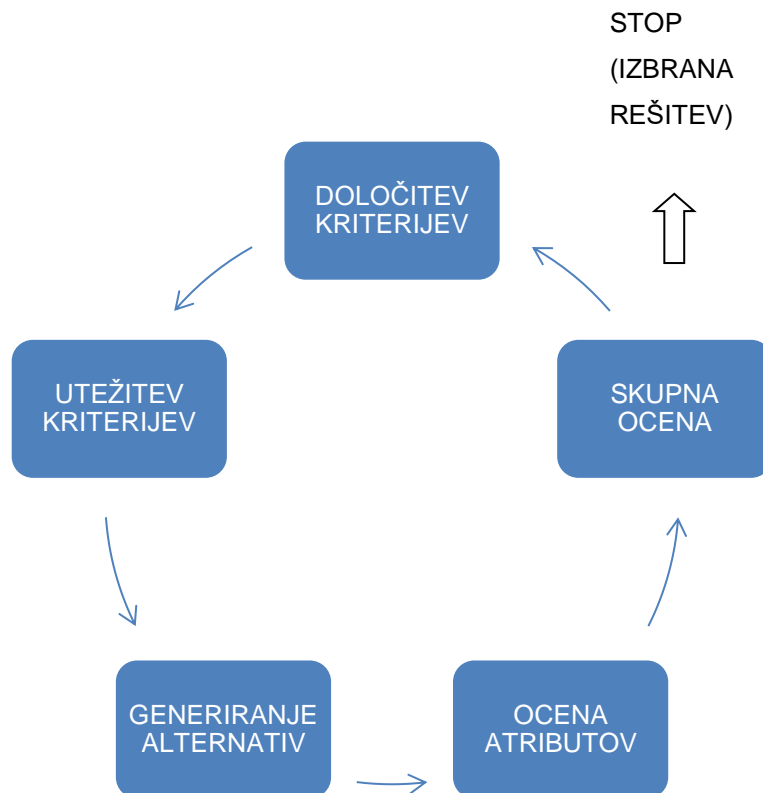
Projektiranje optimalne stavbe je skozi čas postalo pravi izziv za projektanta. Projektantski tim sestavljajo projektantska skupina, investitor in izvajalec projekta. Za projektantski tim je značilno, da sprejemajo najpomembnejše odločitve. Člani projektantske skupine so arhitekt, statik, projektant elektro-inštalacij in projektant ogrevalno-hladilno-prezračevalnega sistema (HVAC - heat, ventilation and air conditioning) (Kocjančič, 2006). Postavlja se vprašanje, kako najti soglasje med člani projektantskega tima, kjer vsak zastopa svoja stališča. Naslednji izziv je povezan s pojmom trajnostnega razvoja, ki mu skušamo v današnjem času čim bolj zadostiti. V gradbeništvu to pomeni, da je potrebno graditi takšne objekte, ki bodo bolje zadovoljevale človeške potrebe in zahteve, ki jih predpisuje okolje (Alanne, 2004).

Zaradi vse večje potrebe na področju obnove ter sodobni tehnološki napredek se na trgu pojavlja veliko možnih rešitev za sanacijo objektov. Pomembno je le, da smo seznanjeni z lastnostmi teh alternativnih rešitev in njihovo medsebojno kompatibilnostjo.

Pri velikem številu alternativnih rešitev ima projektantska skupina, ki načrtuje obnovo, zelo težko nalogo, da na podlagi vseh ocen izbere rešitev, ki je najprimernejša in kompatibilna. Kot smo že prej omenili, je največji izziv, kako najti soglasje med člani skupine, saj vsak zastopa svoje stališče. Projektantska skupina se mora uskladiti in odločiti glede kriterijev, ki jih uporabimo pri iskanju rešitev. Glavni kriterij, ki ga v današnjem času ne smemo spregledati, je trajnostni vidik gradnje. Pod ta pojem spadata dve lastnosti, in sicer trajnost in energetska učinkovitost stavbe (Alanne, 2004).

Ko načrtujemo obnovo objekta pridemo do spoznanja, da je vsaka rešitev sestavljena iz večjega števila ukrepov. Ti ukrepi pa so lahko med seboj odvisni ali pa ne. Prav zaradi tega pa je izdelava racionalnega računalniško podprtega programa priporočljiva in zelo v pomoč projektantski skupini pri izbiranju kar najbolj optimalne kombinacije ukrepov obnove.

Večkriterijska metoda odločanja, ki jo bomo uporabili v nadaljevanju naloge, temelji na tem, da s pomočjo uporabe modela nahrbtnika (»knapsack problem«) izberemo najbolj optimalen niz ukrepov, pri čemer morajo biti izbrani ukrepi med seboj dopolnjujoči in kompatibilni. Prav tako je v pomoč projektantski skupini pri izbiranju najprimernejšega niza ukrepov sanacije že v konceptualni fazi obnove vnaprej znana finančna vrednost projekta (kar je sicer praktično vedno prisotna zahteva oz. omejitev gradbenega projekta). Takšen niz ukrepov lahko določimo s pomočjo metode, ki jo je predlagal Alanne (2004). S prenovo objekta je namen izboljšati trajnostni vidik, funkcionalnost in estetski videz stavbe. Slika 4 prikazuje odločitveni proces v konceptualni fazi projektiranja. Gre za ciklični in ponavljajoč proces.



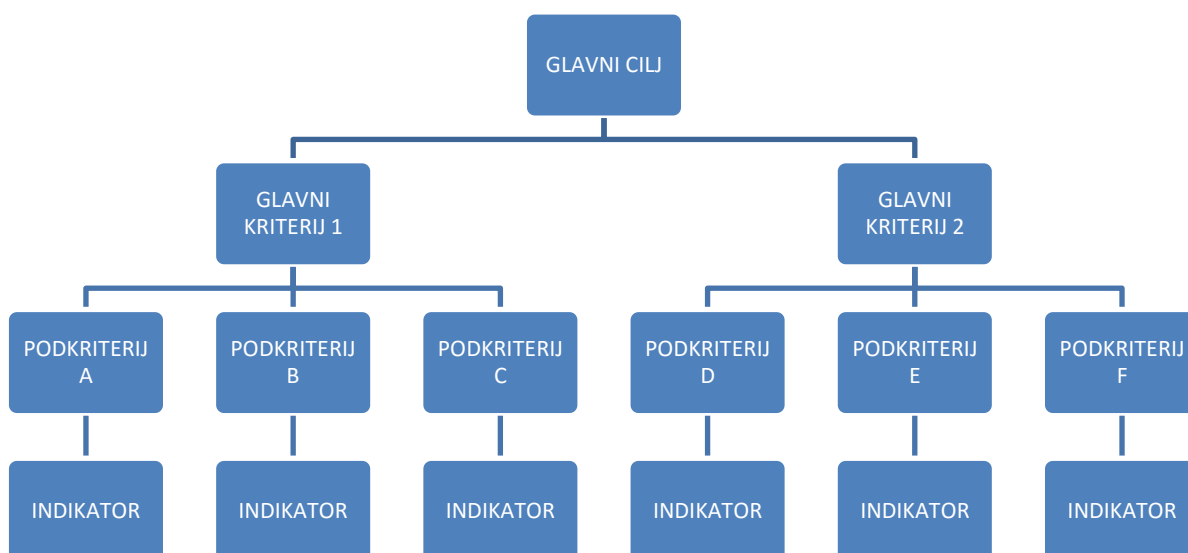
Slika 4: Ciklični, ponavljajoči odločitveni proces v konceptualni fazi projektiranja (Alanne, 2004)

Pri izbiranju nizov ukrepov sanacije navadno projektanti s svojimi izkušnjami izberejo dve ali več alternativnih rešitev, te pa kasneje z različnih vidikov oceni projektantski tim. Ker je možnih sanacijskih ukrepov navadno zelo veliko, je smiselno za racionalno izbiro nabora ukrepov uporabiti večkriterijske metode odločanja (»multi-criteria decision methods«, MCDM). V primeru, da je možnih ukrepov pri posameznem elementu, potrebnem vzdrževanja, več, razpoložljiva finančna sredstva pa so omejena, lahko izbiro skupka ukrepov (oz. portfelja obnovitvenih ukrepov) optimiziramo s pomočjo uporabe modela nahrbtnika.

Da bo koncept koristi bolj razumljiv, moramo najprej razložiti pomen kriterijev. Po Andresen-u so kriteriji definirani kot »standardi presoje ali testiranje sprejemljivosti« (Alanne, 2004). Kriterije načeloma določi (intuitivno ali sistematično) odločevalec. Z njimi odrazi, kaj je zanj pri obravnavanem odločitvenem problemu relevantno in pomembno (Vodopivec »in sod.«, 2015). S koristjo (»utility«) kvantitativno izražamo nivo uporabnosti določenega proizvoda ali storitve

glede na izbran(e) kriterij(e). Kasneje bomo pokazali, da je korist definirana na osnovi ocen ukrepov, glede na vsak posamezen izbran kriterij.

Problemi, ki jih obravnavamo z večkriterijskimi metodami odločanja, so mnogokrat kompleksni in jih ocenjujemo na podlagi velikega števila kriterijev. Posamezne kriterije lahko razgradimo na več podkriterijev ter jih s tem razvrstimo hierarhično v strukturni model, kot to prikazuje slika 5. Vsakemu kriteriju pripišemo indikator, s pomočjo katerega vsako obravnavano alternativo ovrednotimo.



Slika 5: Drevesna struktura modela kriterijev in podkriterijev (Alanne, 2004)

Glavni kriterij predstavlja splošne, strateške cilje (npr. doseči uporabo minimalnih virov), medtem ko se podkriteriji ukvarjajo z bolj splošnimi vprašanji. Najnižji nivo drevesa predstavlja kriterije, določene numerično. V praksi so podkriteriji lahko kvantitativni (npr. poraba energije, potrebne za prezračevanje in hlajenje stavbe) ali kvalitativni. Število kriterijev je odvisno od obravnavanega primera in zahtev odločevalcev (najpogosteje naročnika in bodočih uporabnikov, včasih pa tudi drugih deležnikov (Vodopivec, 2015). Navadno je naloga projektantskega tima, da določi kriterije, ko se projektira obnova posameznega objekta.

Število kriterijev za posamezen primer obnove objekta ni natančno določeno, je pa priporočljivo določiti največ osem glavnih kriterijev in prav tako osem podkriterijev pod vsakim glavnim kriterijem.

Vsi kriteriji niso enako pomembni, zato moramo določiti njihovo relativno pomembnost (ponder). Z relativno pomembnostjo kriterijev izrazimo težo zahtev naročnika in zahteve, ki se nanašajo na primernost notranjih pogojev bivanja za uporabnike. Njihova (relativna) velikost prikazuje, kakšno težo ima posamezen kriterij pri končni odločitvi.

Relativno pomembnost kriterijev lahko določamo na različne načine. Ena od možnih metod je, prav zaradi svoje enostavnosti stopenjska metoda, pri kateri se relativna pomembnost posameznega kriterija določi na podlagi 10-stopenjske lestvice.

Preglednica 1: Lestvica relativnih pomembnosti, uporabljenih v metodi Analitičnega Hierarhičnega Procesu, AHP (Alanne, 2004)

Lestvica	Relativna pomembnost v primerjavi z najbolj pomembnim kriterijem
10	Enaka pomembnost
9	
8	
7	Nekoliko manjša pomembnost
6	
5	
4	Bistveno manjša pomembnost
3	
2	
1	Nepomembnost
0	

Iz preglednice 1 je razvidno, da je potrebno najprej določiti najpomembnejši kriterij iz drevesa kriterijev ter mu dodeliti vrednost 10. Ko je najpomembnejši kriterij določen, sledi ocenjevanje preostalih kriterijev na podlagi primerjave z najpomembnejšim kriterijem. Za vrednotenje kriterijev nam je v pomoč preglednica 1. Relativne pomembnosti nato normiramo na območju intervala med 0 in 1. Vsota ponderjev oziroma relativnih pomembnosti mora biti na določenem

nivoju enaka eni enoti. Na isti način določimo ocene kriterijev na vsakem nivoju drevesa kriterijev.

Na tem mestu je smiselno razložiti še pojem atributi, ki so definirani kot karakteristike ocenjene alternative (opcije) in nam povedo njeno realno vrednost glede na zastavljene kriterije. Pojma atribut in kriterij imata čisto drugačen pomen, zato je potrebno paziti, da jih ne zamenjamo. Ko uporabljamo izraz atribut, se sklicujemo na značilnost določene opcije, in sicer glede na najnižji nivo podkriterijev drevesa kriterijev (slika 5).

Z metodo večkriterijskega odločanja želimo ovrednotiti skupno korist, ki je številčno izražena. Da lahko primerjamo podkriterije na najnižjem nivoju drevesa kriterijev, potrebujemo primerno vrednostno lestvico. Atribut, ki predstavlja značilnost določene opcije, s pomočjo preglednice 2 odrazimo s številčno vrednostjo. Naš namen je, da dokažemo kako primerna je prenova stavbe, če primerjamo obstoječe in prenovljeno stanje. V preglednici 2 je prikazana povezava med definicijo koristi in prilagojenimi vrednostmi. Kot je razvidno iz preglednice, je lahko ocena izboljšave ali poslabšanja stanja na intervalu med 10 in -10.

Preglednica 2: Povezava med definicijo koristi in kvantitativnimi prilagojenimi vrednostmi (Alanne, 2004)

Vrednosti	Opisna definicija koristi
10	bistveno izboljšanje v primerjavi s situacijo pred obnovo
8	veliko izboljšanje v primerjavi s situacijo pred obnovo
6	zadovoljivo izboljšanje v primerjavi s situacijo pred obnovo
4	zmerno izboljšanje v primerjavi s situacijo pred obnovo
2	rahlo izboljšanje v primerjavi s situacijo pred obnovo
0	nobena izboljšava v primerjavi s situacijo pred obnovo
-2	rahlo poslabšanje v primerjavi s situacijo pred obnovo
-4	zmerno poslabšanje v primerjavi s situacijo pred obnovo
-6	zadovoljivo poslabšanje v primerjavi s situacijo pred obnovo
-8	veliko poslabšanje v primerjavi s situacijo pred obnovo
-10	bistveno poslabšanje v primerjavi s situacijo pred obnovo

Ko določimo delne koristi (številčne vrednosti) glede na posamezen kriterij, lahko izračunamo njihovo vsoto in dobimo numerično vrednost S_i , ki izraža skupno korist, ki jo povzroči izbrani ukrep prenove i .

V primeru, da imamo drevo kriterijev, v katerem je m podkriterijev pod vozliščem l , j pa predstavlja tekoči podkriterij med l in m . S pomočjo izdelanega modela dodajanja relativnih pomembnosti seštejemo številčne vrednosti podvozlišč, s čimer dobimo enotno številčno vrednost vozlišča l . Tedaj velja izraz

$$S_l = \sum_{j=1}^m w_j s_j \quad (1)$$

kjer S_l predstavlja doseženo številčno vrednost v vozlišču l . Kot smo že zgoraj omenili, je m število podkriterijev pod tem vozliščem, w_j je utež podkriterija j , ki smo jo normirali na intervalu med 0 in 1, in s_j je dosežena številčna vrednost, ki pripada podkriteriju j . Relativne pomembnosti oziroma ponderje moramo normirati (z namenom, da je vsota relativnih pomembnosti enaka 1), kar pomeni, da moramo deliti posamezno relativno pomembnost z vsoto vseh relativnih pomembnosti (Kocjančič, 2006).

Cilj je, da dobimo eno celotno numerično vrednost, ki pripada vozlišču »glavni cilj« v drevesu kriterijev. Zato isti postopek ponavljamo za vsako vozlišče posebej, tako da začnemo pri najnižjih nivojih. Na koncu dobimo numerične vrednosti S_i , ki pripadajo vsakemu možnemu ukrepu obnove (i) in jih uporabimo v metodi nahrbtnik (»knapsack problem«) (Alanne, 2004).

Poleg zgoraj opisane metode, ki jo uporabimo v magistrskem delu, obstajajo še druge metode odločanja. Predstavljamo jih v nadaljevanju.

a) Določanje možnih scenarijev obnove na osnovi linearnega programiranja mešanih spremenljivk

Pri tej metodi najprej določimo nabor ukrepov, s katerimi bomo zmanjšali in optimizirali stroške življenjskega cikla. Za optimizacijo izberemo tehniko linearnega programiranja. Ker je model linearen, se spremenljivke med sabo ne morejo množiti. Poleg tega tudi stroški sanacije po navadi niso linearni, zato so njihove stroškovne funkcije predstavljene v korakih. Če v model vključimo binarne spremenljivke, ki lahko zavzamejo vrednosti 0 ali 1, si nekoliko olajšamo delo in je problem določitve nabora ukrepov tudi do neke mere rešljiv (Gustafsson, 1998). Podobne probleme s področja operacijskih raziskav obravnava npr. tudi Evins »in sod.«, (2014).

b) Model za podporo pri pol-avtomatski izbiri scenarijev obnove

Faza projektiranja obnove je običajno zamudna, saj je veliko stvari nejasnih in zahteva temeljito presojo. Zato je v večjih organizacijah, ki upravljajo ogromno stavb in drugih objektov, smotrno izkoristiti računalniško podprt model za pomoč v procesu odločanja. Ta model lahko razvijemo v pol-avtomatsko računalniško orodje, ki je v pomoč pri razvoju in izvajanju premišljene in gospodarne politike prenove, saniranja, remodeliranja ali rekonstruiranja objektov, s katerimi navedene organizacije upravljajo (Kocjančič, 2006). Metodo sestavljajo naslednje štiri faze za pomoč pri odločanju:

- predhoden ogled stanja in prostora, v katerem stoji objekt;
- določevanje fizičnega stanja objekta;
- navajanje možnih alternativ sanacije;
- kvantitativna primerjava med alternativami in predstavitev predlogov sanacije (Rosenfeld, Shohet, 1999).

c) Določitev scenarijev obnove

Lastnosti objekta, ki je potreben obnove oziroma rekonstrukcije, je smiselno dobro preučiti, saj je možno na ta način sestaviti primeren in natančen scenarij obnove. V faz projektiranja obnove projektant sestavi nabor možnih sanacijskih ukrepov, ki jih je določil na podlagi svojih izkušenj, ter s pregledom objekta in določenim finančnim sredstvom. Ta metoda je sistematična in temelji na večkriterijskih analizah, sestavljena je iz velikega števila korakov in poteka iterativno. Primerno računalniško orodje rešuje rutinske naloge, kot so kalkulacije predvidenih stroškov, sprotno določevanje bilance energije in preverjanje skladnosti med ukrepi, ter predstavi različna stališča strokovnjaku (Kocjančič, 2006). Projektant, ki uporablja takšen računalniški program, lahko enostavno in v kratkem času določi scenarij obnove. S pomočjo vseh informacij, ki jih je možno dobiti preko programa, se je enostavno odločiti za končni scenarij (Flourentzou, Roulet, 2002).

5.2 Metoda nahrbtnika

Definicijo problema nahrbtnika («knapsack» problem) si najlažje predstavljamo, če za primer vzamemo planinca, ki odpravi v hribe. Seveda mora s seboj vzeti nahrbtnik. Ker pa ima nahrbtnik omejeno prostornino, se planinec, ko pripravlja stvari, zave, da vsega, kar bi rad odnesel s seboj, ne bo mogel spraviti vanj. Zato se pri tem postavi v vlogo odločevalca. Še pred tem si mora zastaviti kriterije, s pomočjo katerih izbira stvari, ki jih bo potreboval s seboj. Njegov namen je nahrbtnik maksimalno izkoristiti, zato mora izbrati takšno kombinacijo stvari,

pri kateri bo prostornina nahrbtnika čim bolj izkoriščena. Kombinacija stvari, ki jih bo odnesel s sabo v hribe pa ima zanj največjo vrednost. Med procesom odločanja predstavlja volumen nahrbtnika omejitveni kriterij.

Izraz 2 predstavlja vsoto volumnov predmetov, ki pa je večja od prostornine nahrbtnika:

$$\sum_{i=1}^n V[i] \quad (2)$$

V je volumen nahrbtnika, v katerem je n predmetov. Za vsakega od njih poznamo njihov volumen; oz. za predmet »i« poznamo $v[i]$.

Predmete razporedimo po relativni vrednosti $\frac{c[i]}{v[i]}$ po vrstnem redu od največjega do najmanjšega. Z $v[i]$ je označena velikost predmeta i , cena predmeta je označena s $c[i]$, veljati pa mora tudi $c[i] > 0$ in $v[i] > 0$.

Potem začnemo polniti nahrbtnik tako, da po vrsti dodajamo urejene predmete po velikosti. V primeru preprostega nahrbtnika lahko predmete režemo, medtem ko pri metodi 0/1 nahrbtnika tega ne smemo. Posledično je lahko v nahrbtniku le en predmet, ki je razrezan.

Z metodo preprostega nahrbtnika dobimo spisek elementov s pripisanimi deleži posameznega elementa nahrbtnika. Z $x[i]$ je označen delež i -tega elementa in če je ta vrednost enaka 0, v nahrbtniku tega elementa ni. Nasprotno je v primeru, ko je vrednost deleža i -tega elementa enaka 1, kar pomeni, da je ta predmet cel v nahrbtniku. Če pa je $x[i] < 1$, pa je v nahrbtniku če del predmeta, saj smo ga morali razrezati (Preprosti nahrbtnik, 2016).

V primeru obnove, ki je tema magistrskega dela, dobimo s pomočjo metode nahrbtnika najbolj optimalni skupek vseh možnih ukrepov obnove. Pomagamo si z ocenjevanjem celotne razpoložljive množice tehnoloških možnosti, vendar se moramo zavedati, da je prav pri ocenjevanju prisotno mnogo konfliktov in različnih interesov. Omejitveni kriterij predstavlja cena celotne sanacije, saj ima praktično vsak naročnik (tako pri novogradnji kot pri prenovi objektov) omejen proračun.

Če imajo projektanti na izbiro manjše število alternativnih rešitev obnove, se njihovo delo poenostavi kasneje, ko te rešitve med seboj primerjajo in ocenjujejo in na koncu izberejo najprimernejšo. Metoda nahrbtnika ima lastnost, ki jo odlikuje; to je, da lahko avtomatično

ocenjuje veliko število kompatibilnih in nekompatibilnih ukrepov v fazi projektiranja prenove. Tudi če je bil na področju računalniškega programiranja in modeliranja narejen v zadnjem času velik korak, računalniški model za proces odločanja še vedno ne more zamenjati človekovega razmišljanja. So pa takšni modeli projektantom vsekakor v pomoč. Računalniško podprta orodja pomagajo odločevalcu najbolj v primerih, kjer je prisotno veliko število (lahko tudi konfliktnih) kriterijev in omejitev. Prav ob velikemu številu opcij in konfliktnih omejitev je uporaba modela najuspešnejša.

Za problem, ki ga v nalogi obravnavamo (kar najbolj optimiziran nabor oz. portfelj obnovitvenih ukrepov za izbrano stavbo), smo kombinirali večkriterijsko metodo odločanja in metodo nahrbtnika. Na podlagi večkriterijske metode odločanja smo dobili skupno korist za vsako izbrano opcijo, nato pa smo te podatke uporabili v modelu nahrbtnika, s katerim smo vsoto koristi posameznih ukrepov maksimizirali.

Pomembno je, da so vsi kriteriji določljivi na skupni lestvici, saj lahko le na ta način prikažemo skupno korist s singularno numerično vrednostjo. Pri ocenjevanju gre večinoma za subjektivno oceno in lahko se zgodi, da dosežemo varljive rezultate, če nenatančno kombiniramo mnenja celotne skupine strokovnjakov, ki sodelujejo pri odločanju. Zato je priporočljiva uporaba čim več kvantitativnih kriterijev in istočasno upoštevati mnenja vseh strokovnjakov (Alanne, 2004).

Model nahrbtnika je v celoti model dodajanja. Da bi dobili eno vrednost, katera predstavlja korist določene opcije, smo uporabili preprost model, s pomočjo katerega seštevamo delne ocene, ki so pomnožene z utežjo oziroma relativno pomembnostjo posameznega kriterija.

Preprosto povedano, pri metodi nahrbtnika gre za primer optimizacije izbranega niza ukrepov, saj lahko s pomočjo te metode avtomatizirano generiramo in ocenjujemo alternativne scenarije obnove, ki vsebujejo niz med seboj kompatibilnih obnovitvenih ukrepov. Tako lahko model uvrstimo med orodja odločanja kot tudi k ekspertnim sistemom.

Matematična enačba, s katero formuliramo model nam mora podati odgovor na vprašanje: S katerimi ukrepi sanacije bomo konstrukcijo, ki je potrebna izboljšave, dosegli največji učinek s prenovo, ob vnaprej znanih maksimalnih stroških? Torej: če se metoda nahrbtnika z dodajanjem uporabi v kontekstu teorije koristi, sledi matematični zapis , kot je prikazano v nadaljevanju.

Predpostavimo, da imamo:

- spremenljivke odločanja (možni sanacijski ukrepi) $a_1, a_2, \dots, a_i, \dots, a_n$;
- $a_i = 1$, če je ukrep a_i izbran, sicer $a_i = 0$.

Funkcija bo potem

$$MAX \sum_{i=1}^n a_i \times S_i \quad (3)$$

kjer S_i = dosežena korist pri izbiri sanacijskega ukrepa a_i .

Zaradi raznih omejitev bo nastopil problem

$$a_i \in \{0,1\} \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^n a_i \times C_i \leq C_{max} \quad (5)$$

kjer C_i = cena ukrepa a_i in C_{max} = maksimalni dopustni stroški projekta.

Dodatno se bodo pojavljale še:

- omejitve zaradi kompatibilnosti (tehnično, katere ukrepe se lahko izvede skupaj);
- omejitve, ki se razlikujejo od primera do primera (nujni ukrepi za konstrukcijo);
- omejitve, ki jih določijo stanovalci objekta (minimalna zahtevana kakovost);
- druge možne omejitve, ki jih narekujejo zakoni in predpisi (Kocjančič, 2006).

Splošne matematične enačbe, ki bi veljala vedno oz. v vsakem primeru, ni možno izraziti. To pa zato, ker je vsak primer obnove unikaten in ima različne omejitve, in posledično matematične enačbe ni mogoče posplošiti.

5.3 Izbira kriterijev za ocenjevanje

Stavbe in okolje, v katerem bivamo, predstavljajo presečno množico vplivov, pod katere sodijo geomorfološke in podnebne značilnosti lokacije, uporabniki s fiziološkimi in kulturnimi značilnostmi in kulturne značilnosti z gradbeno konstrukcijo in napravami, ki ustvarjajo artefakt.

Socio-ekološki sistem, katerega sestavni del so tudi urbano okolje in ljudje, sestavljajo pretoki informacij, snovi in energije skupaj z različnimi funkcionalnimi elementi. Relativna vlaga, izmenjava zraka, toplotne in svetlobne ravni ter stiki z naravnim okoljem so informacijski viri, ki pri funkcionalnih elementih spodbujajo ustrezne odzive ter so odvisni od fizioloških, psiholoških in kulturnih potreb in zahtev ljudi. Funkcionalni elementi pa sestavljajo zgradbo kot celoto, katere naloga je predstavljati vsestranski in celovit socio-ekološki sistem (Krainer, 2003) (Kocjančič, 2006).

Z napredkom v računalniški industriji in elektroniki je omogočena uporaba umetne inteligence in avtomatizacije. Razvoj sodobne informacijske tehnologije in elektronike omogoča uporabo umetne inteligence in avtomatizacije. Zasnova bivalnega prostora je dokaj konservativna, saj v organizaciji bivanja ne pričakujemo korenitih sprememb. Spremembe je mogoče pričakovati v strukturi ovoja in pri materialih ter njihovih lastnostih. Omenjene spremembe pa omogoča uporaba tehnologije današnjega časa. Vendar je priporočljivo upoštevati vodilo, da za dinamične spremembe potrebujemo tudi dinamično stavbo oziroma njene dele (Kocjančič, 2006).

Z napredkom v tehnologiji je cilj doseči čim bolj energetsko učinkovito oblikovanje grajenega okolja in prav ta cilj ne predstavlja omejitve, temveč pravi izziv za arhitekturno oblikovanje.

Grajeno okolje ima velik vpliv na celoten socio-ekonomsko-ekološki sistem človeške družbe. Gradbena industrija oziroma gradnja stavb kot celota porabi približno 40 % skupne energije. Glede na to, da v razvitih družbah ljudje preživimo 80 do 90 % časa v notranjem okolju, od tega največ prav v stavbah, se je potrebno zavedati, da se vpliv gradnje stavb v veliki meri direktno odraža na zadovoljstvu in udobju ljudi. Zato je pomembno, kakšne stanovanjske objekte gradimo, saj je njihov vpliv na ljudi zelo velik in ima ogromen vpliv na kvaliteto življenja, kot tudi na ekološki in ekonomski razvoj celotne družbe (Košir, 2016).

V zadnjih desetletjih je v ospredju predvsem želja in potreba po zmanjševanju porabe energije za delovanje stavb. Ta želja in potreba sta posledica, da cene energentov naraščajo, hkrati pa se ljudje vse bolj zavedamo, da ima raba goriv izrazito negativen vpliv na okolje. Posledica je vse večje zanimanje za ekonomski in okoljski vidik gradnje, medtem ko sta socialni in zdravstveni vidik zapostavljena.

Udobno in zdravo notranje okolje v stavbah bi moralo biti enako pomembno kot zmanjševanje porabe energije, a je žal velikokrat ravno obratno, saj lahko postane kakovost notranjega okolja mnogokrat stranska škoda nepremišljenega varčevanja pri porabi energije. Tako se na primer

zanemarja ali namensko zmanjšuje stopnja prezračevanja prostorov, manjšajo se površine oken, z izboljšanjem njihove toplotne prehodnosti pa se hkrati poslabša njihova prepustnost za svetlobo. Pri tem pa se mnogokrat spregleda, da se s takšnimi ukrepi zmanjša izpostavljenost uporabnikov stavb dnevni svetlobi. Prav za dnevno svetlobo v grajenem okolju je bilo dokazano, da je ključnega pomena, saj omogoča regulacijo cirkadianega ritma, ki vpliva na cikel budnosti in spanja, telesno temperaturo, izločanje hormonov, kognitivne funkcije in imunski odziv, razpoloženje in vedenje ter deluje kot učinkovito terapevtsko sredstvo.

Izziv gradbeništva sedanjosti je, kako izboljšati energetske učinkovitost stavb, izziv prihodnosti pa bo, kako vzpostaviti in oblikovati zdravo in uporabnikom vzpodbudno grajeno okolje z minimalnimi negativnimi posledicami (Košir, 2016).

Ko govorimo o učinkoviti rabi energije v stavbah, so gradbeni materiali samo del precej širše zgodbe. Še tako dober »energetsko varčen« ali »energetsko učinkovit« material ne more kaj dosti prispevati k nizki rabi energije za obratovanje stavbe, če je npr. osnovna zasnova stavbe neprimerna, če ne upoštevamo naravnih danosti in omejitev konkretne lokacije (npr. motnost izkoriščanja pasivnih sončnih pritokov, zaščita pred vetrom in padavinami), če vgradimo napačno dimenzionirane ali neučinkovite naprave in podobno.

Po navadi v tem kontekstu najprej pomislimo na materiale za toplotno zaščito oz. na toplotne izolacije. Večja kot je debelina toplotne izolacije, več pozitivnih učinkov prinese; to seveda ni nikakršno odkritje: več je izolacije, večji je toplotni upor konstrukcije in manjši je toplotni tok iz ogrevanih prostorov navzven. Posledično prihranimo pri toploti in stroških za ogrevanje. Ob primerni motnosti in pravilni zasnovi senčenja prozornih površin ovoja ob tem vplivamo tudi na toplotno stabilnost stavbe in na zmanjšanje potreb po hlajenju v toplem obdobju leta. Opozoriti pa je potrebno, da večanje debeline izolacije v nedogled ni smiselno, tako iz tehnično-izvedbenih razlogov kot tudi zaradi vedno počasnejšega izboljševanja toplotnega upora z naraščanjem debeline materiala.

Ekološka ozaveščenost nasploh vodi k vrednotenju materialov po širših kriterijih. Že zdaj so pomembni vidiki npr. količina vgrajene energije, možnost razgradnje ter ponovne uporabe ipd., v prihodnosti pa bodo še bistveno bolj. Tako je lahko proizvodnja nekega »energijsko varčnega« materiala s sicer odličnimi toplotnimi lastnostmi zelo draga ali pa material povzroča veliko obremenitve okolja bodisi pri pripravi, transportu ali razgradnji. Upoštevanje teh vidikov je pomemben del prizadevanj za nizkoogljično družbo, termin, ki se danes uveljavlja morda bolj v političnem kot tehničnem okolju.

Pravilno načrtovanje in izbira primerne materiala, pravilna vgradnja in pravilno vzdrževanje je nekaj korakov, ki so potrebni, da bo material zadovoljivo opravljal svojo funkcijo in prispeval k izpolnjevanju ciljev učinkovite rabe energije. Kajti še tako »enkratno« material mogoče za določen konkreten primer iz konstrukcijskih, gradbeno fizikalnih ali drugih razlogov sploh ne bi prišel v poštev in si tako z njim ne bi mogli prav nič pomagati. Obstaja pa še dodatni pogoj za doseganje energetske učinkovitosti; in sicer da se opusti načelo enačenja izpolnjevanja osnovnih zahtev predpisov z dobro gradbeno prakso. V praksi se to načelo prevede na primer v »samo taka debelina izolacije, kot je nujno potrebno za zadostitev predpisom«. Delno se sicer to stanje korigira s periodičnim zaostrovanjem zahtev predpisov, skladno s predmetnimi evropskimi direktivami.

Ne sme se zanemariti dejstva, da lahko zahteva po bistveno večji toplotni prehodnosti ovoja stavbe zelo vpliva na debelino njenega ovoja. Predvsem pri večjih večstanovanjskih stavbah, kjer se izkoristek izkazuje skozi število prodanih kvadratnih metrov uporabne tlorisne površine znotraj omejenih zunanjih gabaritov stavbe, se lahko ekonomski računi opazno spremenijo. Tu je gotovo velika priložnost za materiale z izboljšanimi toplotnimi lastnostmi (Tomšič, 2016).

Zaradi izgorevanja kuriva, ki je potrebno za ogrevanje zgradb, emitira v zrak ogljikov dioksid, ki ima toplogredni učinek. Zmanjšanje porabe kuriva, ki je posledica učinkovite toplotne zaščite stavbe, sodi tudi zato med najpomembnejše okoljevarstvene ukrepe.

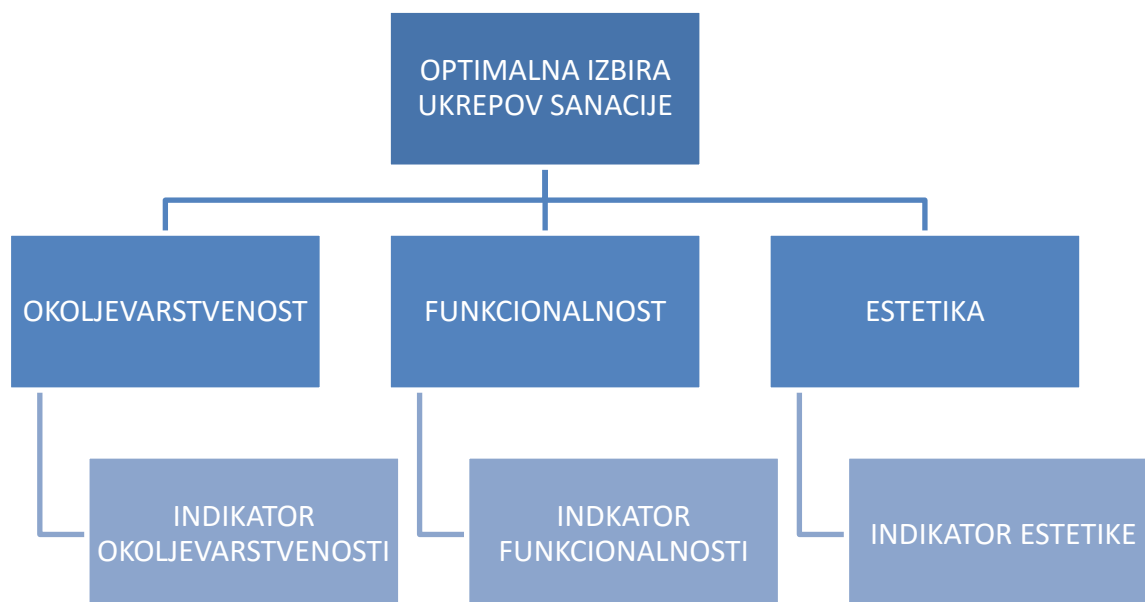
Zaključimo lahko, da so pri gradnji kakor tudi pri obnovi obstoječih gradbenih objektov najpomembnejši socialni, funkcionalni, okoljevarstveni ter estetski vidiki. Pri tem funkcionalni vidiki vključujejo tudi vidike uporabnosti in varnosti.

V nadaljevanju magistrskega dela, ki prikazuje uporabo orodja pri metodi večkriterijskega odločanja, ki je predstavljena v prejšnjem poglavju, bomo zaradi preglednosti upoštevali naslednje vidike oz. kriterije:

- funkcionalni,
- estetski in
- okoljski vidik.

6 PREDSTAVITEV OBSTOJEČEGA OBJEKTA

Metodo nahrbtnika smo uporabili na primeru obnove stanovanjske stavbe, ki se nahaja v Mozirju. Celotno sanacijo smo definirali na osnovi treh kriterijev, ki smo jih utemeljili in izbrali v predhodnem poglavju. Na sliki 6 je prikazano drevo kriterijev, ki je sestavljeno iz štirih vozlišč: glavni cilj (optimalna izbira ukrepov sanacije) in trije kriteriji z njihovimi indikatorji. Glede na finančno in druge omejitve smo maksimizirali objektivno funkcijo. Naš cilj je bil testirati kako uporaben in funkcionalen je model nahrbtnika, ko iščemo rešitev izbire skupka ukrepov z največjo skupno koristjo, pri čemer so razpoložljiva finančna sredstva omejena.



Slika 6: Prikaz drevesa kriterijev za primer obnove stanovanjske stavbe

6.1 Splošna predstavitev stanovanjskega objekta

V magistrskem delu obravnavamo enodružinsko hišo, staro približno 150 let, ki leži v centru Mozirja. Hiša je pravokotne oblike tlorisnih dimenzij 8,00 x 14,00 m s prizidkom na južni strani ter delno vkopano shrambo, katere tlaki se nahajajo približno 0,7 m pod nivojem terena. Poleg pritličja in nadstropja je objekt delno podkleten. Tlaki kleti se nahajajo približno 2 m pod nivojem terena. Višina pritličja znaša med 2,70 m in 2,85 m ter višina nadstropja 2,30 m.



Slika 7: Vzhodna in severna fasada obravnavane hiše

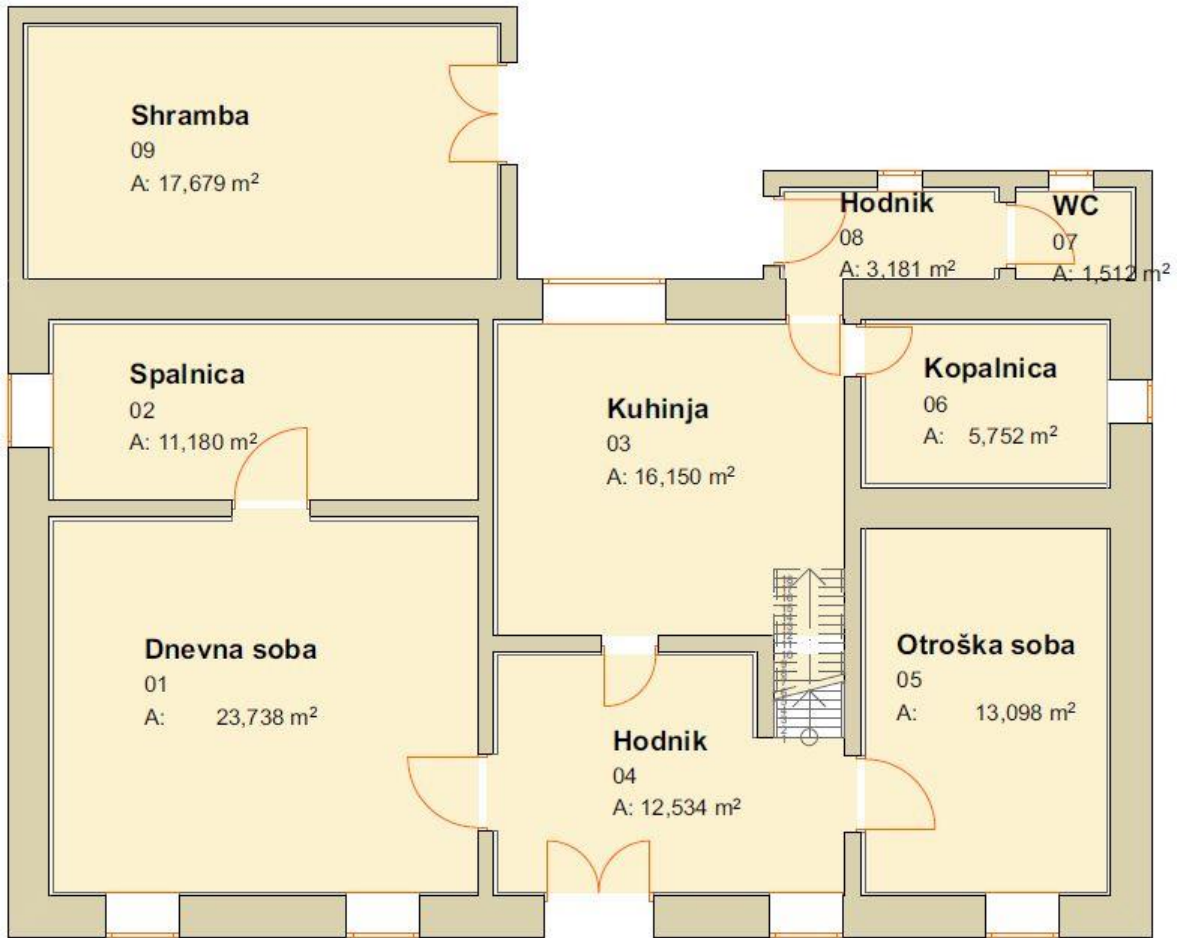


Slika 8: Zahodna in severna fasada obravnavane hiše



Slika 9: Južna fasada obravnavane hiše

Nosilno konstrukcijo tvorijo masivni kamniti in opečnati zidovi debeline 50 cm. Poleg nosilnih zidov so v pritličju kamniti zidovi debeline 30 cm in lesene predelne stene debeline 20 cm. V nadstropju so vse notranje stene iz lesa debeline 20 cm. Medetažna konstrukcija je iz lesenih tramov, ki je po sredini tlorisa hiše ojačana z jeklenim nosilcem. Prav tako so v hiši lesene stopnice s strmim naklonom 46° .



Slika 10: Tloris pritličja



Slika 11: Tloris nadstropja

Hiša je prekrita z opečno kritino in je bila prenovljena leta 2012. Med prenovo strehe se je v istem času povečala frčada na južni strani hiše, kot je vidno na slikah spodaj.



Slika 12: Stanje pred prenovo strehe leta 2012



Slika 13: Prenova strehe in povečanje frčade leta 2012

7 UKREPI OBNOVE OBRAVNAVANEGA OBJEKTA

Obravnavana stanovanjska hiša je bila zgrajena v obdobju, ko ni bilo nobenih predpisov glede debeline zahtevane toplotne izolacije in učinkovite rabe energije v objektih. V današnjem času pa obstajajo pomembnejši predpisi, ki urejajo energetske učinkovitost in certificiranje stavb v Sloveniji in so na kratko predstavljeni v nadaljevanju poglavja.

Stavbe v Evropski uniji porabijo približno 40 % skupne energije. Zato sta zmanjšanje porabe energije in raba energije iz obnovljivih virov v gradbenem sektorju pomembna ukrepa, ki sta zadolžena za zmanjšanje energetske odvisnosti Unije in emisij toplogrednih plinov (Direktiva EPBDr).

Pri izbranih ukrepih obnove smo uporabili smernice, ki jih določa zakonodaja na področju energetske učinkovitosti objektov, da bi z obnovo privarčevali čim več energije ter objekt spremenili v energijsko varčen dom.

7.1 Zakonodaja o energetske učinkovitosti objekta

- ❖ **Zakon o graditvi objektov (ZGO-1, 2004)** ureja pogoje za graditev vseh objektov, določa bistvene zahteve in njihovo izpolnjevanje glede lastnosti objektov, predpisuje način in pogoje za opravljanje dejavnosti, ki so v zvezi z graditvijo objektov, ureja organizacijo in delovno področje dveh poklicnih zbornic, ureja inšpekcijsko nadzorstvo, določa sankcije za prekrške, ki so v zvezi z graditvijo objektov ter ureja druga vprašanja, povezana z graditvijo objektov.

S pomočjo gradbenih predpisov se za posamezne vrste objektov določijo njihove tehnične značilnosti, tako da ti objekti glede na svoj namen izpolnjujejo eno, več ali vse bistvene zahteve, opredeljene v Zakonu o graditvi objektov:

- mehanske odpornosti in stabilnosti,
- varnosti pred požarom,
- higienske in zdravstvene zaščite in zaščite okolice,
- varnosti pri uporabi,
- zaščite pred hrupom in
- varčevanja z energijo in ohranjanja toplote.

Ker je tema magistrske naloge prenova starejše stanovanjske stavbe, je naš namen, da zadostimo predvsem prvi in zadnji bistveni zahtevi.

- ❖ **Energetski zakon (EZ-1, 2014)** določa načela energetske politike, pravila delovanja trga z energijo, načine in oblike izvajanja gospodarskih javnih služb na področju energetike, načela in ukrepe za doseganje zanesljive oskrbe z energijo, za povečanje energetske učinkovitosti in varčevanja z energijo ter za večjo rabo energije iz obnovljivih virov določa pogoje za obratovanje energetskih naprav, ureja pristojnosti, organizacijo in delovanje Agencije za energijo ter pristojnosti drugih organov, ki opravljajo naloge po tem zakonu.

- ❖ **Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES2010, 2010)** določa tehnične zahteve, ki morajo biti izpolnjene za učinkovito rabo energije v stavbah na področju toplotne zaščite, ogrevanja, hlajenja, prezračevanja ali njihove kombinacije, priprave tople vode in razsvetljave v stavbah, zagotavljanja lastnih obnovljivih virov energije za delovanje sistemov v stavbi ter metodologijo za izračun energijskih lastnosti stavbe v skladu z Direktivo 31/2010/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 19. maja 2010 o energetske učinkovitosti stavb (Direktiva EPBDr, 2010).

Uporaba pravilnika PURES2010 je namenjena gradnji novih stavb in pri rekonstrukciji objektov oziroma posameznih delov objektov, če se posega v manj kot 25 odstotkov površine toplotnega ovoja in če je to tehnično izvedljivo. PURES2010 predpisuje obvezno uporabo Tehnične smernice za graditev TSG-1-004 Učinkovita raba energije (TSG-1-004, 2010). S to smernico so določeni gradbeni ukrepi oziroma rešitve za dosego zahtev iz tega pravilnika ter obravnava arhitekturne zahteve, toplotno zaščito, ogrevanje, hlajenje, prezračevanje, pripravo tople vode in razsvetljavo v stavbah. Poleg tega določa metodologijo izračuna energetskih lastnosti stavbe.

7.2 Izbrani ukrepi obnove

V nadaljevanju so v preglednici 3 predstavljeni vsi izbrani ukrepi primerne in učinkovite obnove obravnavane hiše. V drugem stolpcu so navedene cene na enoto za vsak ukrep obnove posebej, ki smo jih pridobili preko spleta. Nekateri izvajalci del pa so nam poslali informativne ponudbe.

Poleg cen so v preglednici predstavljeni tudi okoljski, funkcionalni in estetski faktorji, ki predstavljajo oceno ukrepov glede na posamezen kriterij. Faktorje smo dodelili na podlagi subjektivne presoje, ki je opisana v nadaljevanju. Vrednosti posameznih faktorjev imamo za prvi približek. Če bi želeli vrednosti posameznih faktorjev določiti natančneje, bi potrebovali bolj podrobne informacije o izbranih ukrepih.

Preglednica 3: Spisek ukrepov obnove s pripadajočimi cenami ter okoljsko F_o , funkcionalno F_f in estetsko F_e oceno vseh ukrepov

Ukrepi sanacije	Cena [eur]	F_o [0,10]	F_f [-10,10]	F_e [-10,10]
Fasada tipa A (toplotna izolacija kamena volna = 14 cm)	42 €/m ²	10	-2	6
Fasada tipa B (toplotna izolacija kamena volna = 9 cm)	36 €/m ²	5	2	8
Sanacija strehe 1	47,48 €/m ²	8	1	8
Sanacija strehe 2	54,13 €/m ²	4	-2	7
Toplotna izolacija ostrešja – 25 cm	1,99 €/m ²	6	5	0
Toplotna izolacija ostrešja – 40 cm	3,97 €/m ²	8	4	-2
Menjava tlakov v pritličju	21,25 €/m ²	8	3	5
Lesena okna	6.782,78 €	8	5	7
Aluminijasta okna	10.298,35 €	4	3	5
Plastična okna	5.229,16 €	6	4	4

Cilj obnove starejše stavbe je v našem primeru (pa tudi v večini drugih primerov), je izboljšanje toplotne izolacije celotnega ovoja stavbe. Koliko toplotne izolacije je potrebne, da bo obravnavani objekt po obnovi ustrezal kriterijem energijsko varčne hiše, smo določili s pomočjo programa ArchiMAID, podjetja Fibran d.o.o. Program je brezplačno dostopen na internetu, z njim pa lahko dokazujemo ustreznost stavbe skladno s Pravilnikom o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES2010, 2010).

Ponudbo za izdelavo fasade smo pridobili od podjetja Weber. Toplotna izolacije je iz kamene volne, in sicer je v prvem primeru debelina 14 cm, kar pomeni, da z njo zadostimo pogojem za energetske učinkovitost stavb. Kot drugo varianto pa smo vzeli približno 2/3 te debeline. V ceno je vključen material, delo in oder.

Okvirne cene za izdelavo strehe smo pridobili na spletni strani Topdom. Izbrali smo dve varianti, predstavljeni v preglednici 4.

Preglednica 4: Cenik za izdelavo strehe (Topdom, 2016)

		Toplotna prevodnost (W/M2k)
Varianta 1	Različen rezan les ca. 14,3 m ³ , vsa pritrdila, impregnacijska zaščita, izolacija iz steklene volne debeline 16 cm, škarniki, prekriti z lesno izolacijo debeline 1,5 cm, sekundarna kritina, lepilni trakovi, kritina s slemenjaki, zračniki, slemenskimi in kapnimi rešetkami, slemensko folijo, zaključki, odtočnimi žlebovi, snegobrani.	0.2307
Varianta 2	Različen rezan les ca. 14,3 m ³ , vsa pritrdila, impregnacijska zaščita, izolacija iz kamene volne debeline 32 cm, škarniki, prekriti z izolacijo iz kamene volne debeline 8 cm, sekundarna kritina, lepilni trakovi, kritina s slemenjaki, zračniki, slemenskimi in kapnimi rešetkami, slemensko folijo, zaključki, odtočnimi žlebovi, snegobrani.	0.0956

Pri ceni za dodatno toplotno izolacijo ostrešja smo upoštevali ceno materiala podjetja Knauf insulation. Za menjavo tlakov v pritličju pa smo uporabili ceno iz predračuna za menjavo tlakov, kot so navedeni v (Lisjak, 2014).

Ponudbo za menjavo oken smo dobili v podjetju Mik Celje d. o. o. Lesena okna Comfort Line 80 imajo trojno tesnjenje s prozornim silikonom, standardno toplotno izolativno steklo (Ug-vrednost 0,6 W/m²K) ter zvočno izolacijo do 44 dB (z ustrezno zasteklitvijo). Aluminijasta okna Comfort Line izstopajo po tem, da so izjemno stabilna in zagotavljajo visoko stopnjo izolativnosti. Prav tako gre za troslojna okna, s toplotno izolacijo Ug = 0,6 W/m²K in zvočno izolacijo do 47 dB (z ustrezno zasteklitvijo). Za plastična okna smo dobili ponudno za PVC Comfort Extra line, prav tako gre za troslojna okna, s toplotno izolacijo Ug = 0,6 W/m²K in zvočno izolacijo do 46 dB (z ustrezno zasteklitvijo).

Iz preglednice 3, kjer so naštet ukrepi obnove, je razvidno, da smo jih razdelili v pet skupin:

- fasada,
- sanacije strehe,
- toplotna izolacija ostrešja,
- menjava tlakov v pritličju,
- menjava oken.

Pri vrednotenju okoljskih faktorjev smo upoštevali, v kolikšni meri posamezen ukrep obnove vpliva na zmanjšanje emisij plina CO₂ glede na obstoječe stanje objekta. Zmanjšanje emisij ogljikovega dioksida dosežemo s tem, da zmanjšamo potrebo po ogrevanju. To pa pomeni, da moramo objekt čim bolj toplotno izolirati. Največje toplotne izgube so skoti ovoj stavbe in posledično so okoljski faktorji največji pri ukrepih dodajanja toplotne izolacije na zunanje stene in streho. Za toplotno udobje je prav tako pomemben ukrep menjava oken.

Faktorje funkcionalnosti smo določili na osnovi naslednjih postavk, povzetih po članku (Alanne, 2004):

- Kakšna je enostavnost izvedbe tega ukrepa sanacije?
- So potrebna še kakšna dodatna dela za izvedbo tega ukrepa?
- Se za izvedbo tega ukrepa zahtevajo katere nove metode, ki še ne obstajajo?
- Kakšen je vpliv ukrepa na udobnost?
- Kakšen je vpliv ukrepa na zanesljivost?
- Kakšen prostor je potreben za izvedbo del?
- Kakšna je skladnost z obstoječo konstrukcijo?
- Kakšen je vpliv na fizične karakteristike objekta?
- Kakšen je vpliv ukrepa na uporabnost objekta?
- Kakšen je vpliv ukrepa na vzdrževanje?

Negativne vrednosti faktorjev funkcionalnosti smo dodelili predvsem ukrepom dodajanja toplotne izolacije na zunanje stene oziroma izdelavi fasade in dodajanja toplotne izolacije pri prenovi strehe. Temu pripisujemo predvsem samo zahtevnost in zamudnost del. Zanimivo je, da imata ukrepa dodajanja toplotne izolacije pri okoljskem kriteriju višje ocene, medtem ko so pri kriteriju funkcionalnosti te ocene celo negativne.

Nova okna s svojimi lastnostmi vsekakor izboljšujejo kakovost bivanja v stavbi. Zagotavljajo nizke toplotne izgube, kakovostno in varčno prezračevanje, zaščito pred hrupom, obstojnost, varnost ter preprosto vzdrževanje. Posledica tega so pozitivni faktorji funkcionalnosti.

Pri kriteriju estetike gre povsem za subjektivno oceno, kar pomeni, da ocene temeljijo na željah in okusih posameznikov.

7.3 Izračun

V preglednici 3 so predstavljeni vsi možni ukrepi obnove in v primeru, da ni definiranih nobenih omejitev, je možnih 2^{10} sanacijskih scenarijev. Po navadi za problem brez definiranih omejitev velja, da je rešitev trivialna, in sicer je sestavljena iz ukrepov, ki imajo ne-negativne koristi.

Pri modelu nahrbtnika velja, da ima izbrani ukrep a_i vrednost 1, neizbrani pa vrednost 0. Na podlagi tega določimo za vse možne ukrepe naslednjo omejitev:

$$a_i \in \{0,1\} \quad (6)$$

Sledi še ena omejitev, ki smo jo postavili, in sicer finančna omejitev. Za celotno obnovo obravnavanega objekta smo predpostavili, da lahko stane največ 29.000,00 €. Finančno omejitev zapišemo v matematični obliki

$$\sum_{i=1}^{10} a_i \times C_i \leq 29.000,00 \quad (7)$$

Iz vsake zgoraj navedene skupine ukrepov lahko model izbere le eno izbiro ukrepa obnove, zato moramo določiti omejitve, ki omejujejo kompatibilnost med vsemi sanacijskimi ukrepi v okviru ene skupine ukrepov.

Spodaj je zapisan primer ene od petih takšnih omejitev,

$$\sum_{i=1}^2 a_i = 1 \quad (8)$$

ki določuje eno izbiro fasade v posameznem poskusu.

Optimizacijski problem je definiran z enačbami (5), (6) in (7). Za reševanje problema smo izdelali računalniško podprt program, v katerem smo za reševanje enačb uporabili funkcijo Solver MS Excela. Rezultat izdelanega programa je kombinacija ukrepov obnove, ki rezultirajo v največji skupni koristi glede vnaprej izbrane kriterije in vrednost dosežene skupne koristi za izbran niz oz. kombinacijo ukrepov obnove.

Vez: Dejanski stroški sanacij, ki so odvisni od odločitvenega vektorja, ne smejo presegati finančne omejitve.

Vez: Členi odločitvenega vektorja so binarne spremenljivke:
 $a_i = 1$, če je sanacija nadvoza i izbrana, $i = 1 \dots 27$
 $a_i = 0$, če sanacija nadvoza i ni izbrana, $i = 1 \dots 27$.

Odločitveni vektor ($a_1 \dots a_{10}$); tu je definirano generično območje odločitvenega vektorja.

Skupna koristnost, ki jo želimo maksimizirati

Vez: Omejitve, ki določujejo le eno izbiro sanacijskega ukrepa iz posamezne navedene skupine ukrepov.

Slika 14: Programsko orodje Solver (Reševalnik)

Pri definiranju in reševanju obravnavane stavbe smo upoštevali različne stopnje pomembnosti posameznih uporabljenih kriterijev: okoljski vidik, vidik funkcionalnosti ter estetski vidik.

Posameznemu uporabljenemu kriteriju smo predpisali različno stopnjo pomembnosti. To pomeni, da smo pri izbiri optimalnega nabora ukrepov, ki pri dani finančni omejitvi rezultira v največji skupni koristi, izmed celotne množice možnih ukrepov uporabili različne načine vrednotenja.

Pri izbiranju upoštevamo naslednje stopnje pomembnosti:

- pomemben je samo eden izmed kriterijev (izbira vrednotimo le glede na npr. estetski vidik) – to so kombinacije 100/0/0, 0/100/0, 0/0/100 v preglednici 5;
- pomembna sta dva kriterija, ki imata enako utež, eden pa je nepomemben – to so kombinacije 0/50/50, 50/0/50, 50/50/0 v preglednici 5;
- predpostavimo, da je okoljski kriterij bolj pomemben kot estetski in funkcionalni kriterij – kombinacija 50/25/25;
- vsi kriteriji imajo enako pomembnost – kombinacija 33/33/33 v preglednici 5.

Poleg teh kombinacij pomembnosti posameznih kriterijev so seveda možne tudi drugačne kombinacije, ki pa so odvisne od posameznika, ki uporablja izdelano računalniško podprto orodje.

V preglednici 5 je navedenih osem načinov dodelitve pomembnosti (ponderiranja), katere smo analizirali za vsak nivo finančne omejitve.

Preglednica 5: Relativna pomembnost kriterijev – načini ponderiranja

Načini ponderiranja	Ponderji
Povsem okoljsko naravnano ponderiranje	100/0/0
Povsem funkcionalno naravnano ponderiranje	0/100/0
Povsem estetsko naravnano ponderiranje	0/0/100

se nadaljuje ...

... nadaljevanje preglednice 5

Funkcionalno in estetsko naravnano ponderiranje	0/50/50
Okoljsko in estetsko naravnano ponderiranje	50/0/50
Okoljsko in funkcionalno naravnano ponderiranje	50/50/0
Okoljsko naravnano ponderiranje	50/25/25
Enakovredno ponderiranje vseh treh kriterijev	33/33/33

Da lahko medsebojno primerjamo vpliv posameznih kriterijev, jih moramo normalizirati tako, da zavzame minimalna vrednost normaliziranega parametra 0 in maksimalna 10. To pomeni, da smo normalizirali kriterije funkcionalnosti in estetike, medtem ko okoljski kriteriji že zavzemajo vrednosti med 0 in 10.

1. Izbira naborov ukrepov pri povsem okoljsko naravnem ponderiranju

Preglednica 6: Rezultati odločanja glede na okoljski kriterij

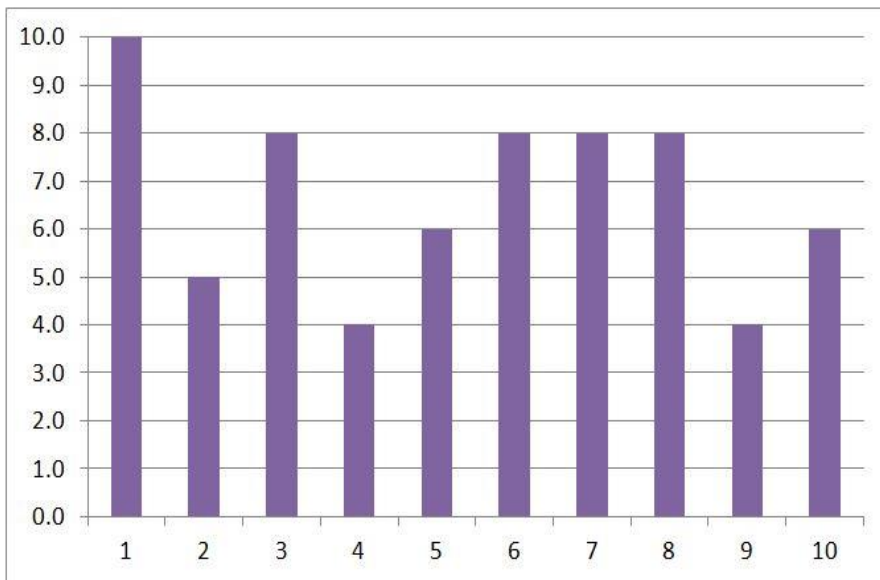
	O	F	E
Relativna pomembnost kriterijev	1	0	0

	Ukrepi sanacije	O	F	E	Korist	Cena (Eur)	Odločitveni vektor
1	Fasada tipa A (toplotna izolacija kamena volna = 14 cm)	10	0.4	0.8	10.0	9.450,00	1
2	Fasada tipa B (toplotna izolacija kamena volna = 9 cm)	5	0.6	0.9	5.0	8.100,00	0
3	Sanacija strehe 1	8	0.55	0.9	8.0	9.733,40	1
4	Sanacija strehe 2	4	0.4	0.85	4.0	11.096,65	0
5	Toplotna izolacija ostrešja – 25 cm	6	0.75	0.5	6.0	114,62	0
6	Toplotna izolacija ostrešja – 40 cm	8	0.7	0.4	8.0	228,66	1
7	Menjava tlakov v pritličju	8	0.65	0.75	8.0	2.227,51	1
8	Lesena okna	8	0.75	0.85	8.0	6.782,78	1
9	Aluminijasta okna	4	0.7	0.75	4.0	10.298,35	0
10	Plastična okna	6	0.65	0.7	6.0	5.229,16	0
					42.0	28.422,35	5

Komentar: Iz preglednice 6 je razvidno, da so izbrani ukrepi, ki imajo najvišjo oceno glede na okoljski kriterij. To pomeni, da z večanjem pomembnosti okoljskega vidika raste debelina

toplotne izolacije tako na zunanjih stenah kot tudi na strehi in ostrešju. V tem primeru, ko ima največjo pomembnost okoljski vidik, dobimo torej rešitev, ki ima pri finančni omejitvi 29.000,00 € skupno korist 42 ter ceno sanacije 28.422,35 €.

Na sliki 15 so prikazane koristi posameznega ukrepa pri okoljskem vidiku.



Slika 15: Delne koristi ukrepov glede na okoljski kriterij

2. Izbira naborov ukrepov pri povsem funkcionalno naravnem ponderiranju

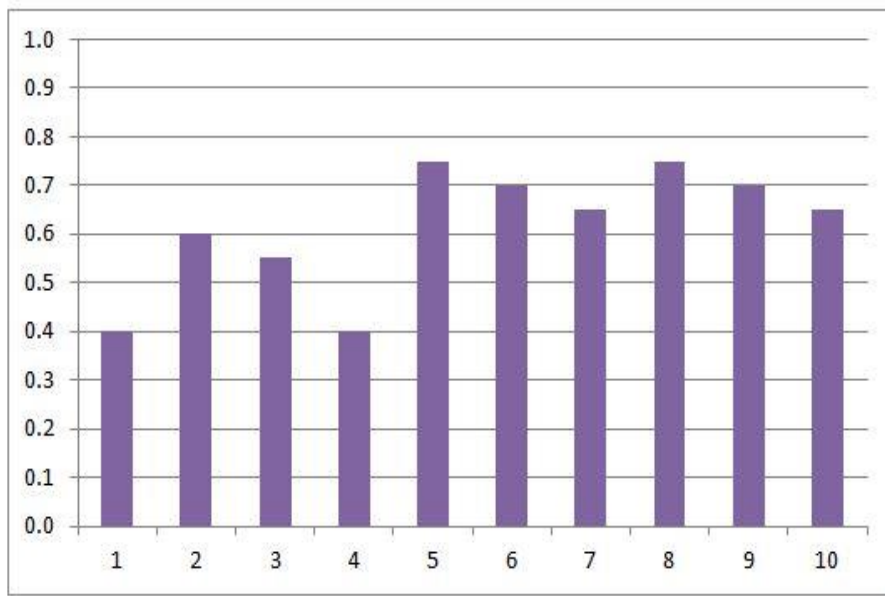
Preglednica 7: Rezultati odločanja glede na funkcionalni kriterij

	O	F	E
Relativna pomembnost kriterijev	0	1	0

	Ukrepi sanacije	O	F	E	Korist	Cena (Eur)	Odločitveni vektor
1	Fasada tipa A (toplotna izolacija kamena volna = 14 cm)	10	0.4	0.8	0.4	9.450,00	0
2	Fasada tipa B (toplotna izolacija kamena volna = 9 cm)	5	0.6	0.9	0.6	8.100,00	1
3	Sanacija strehe 1	8	0.55	0.9	0.6	9.733,40	1
4	Sanacija strehe 2	4	0.4	0.85	0.4	11.096,65	0
5	Toplotna izolacija ostrešja – 25 cm	6	0.75	0.5	0.8	114,62	1
6	Toplotna izolacija ostrešja – 40 cm	8	0.7	0.4	0.7	228,66	0
7	Menjava tlakov v pritličju	8	0.65	0.75	0.7	2.227,51	1
8	Lesena okna	8	0.75	0.85	0.8	6.782,78	1
9	Aluminijasta okna	4	0.7	0.75	0.7	10.298,35	0
10	Plastična okna	6	0.65	0.7	0.7	5.229,16	0
					3.3	26.958,31	5

Komentar: V primeru, ko ima največjo pomembnost funkcionalni vidik, metoda izbire ukrepe z manjšo toplotno izolacijo predvsem zaradi zamudnosti in večje zahtevnosti pri vgradnji. Dobimo torej nabor ukrepov, ki imajo pri finančni omejitvi 29.000,00 € skupno korist 3.3 ter ceno sanacije 26.958,31 €.

Na sliki 16 so prikazane koristi posameznega ukrepa glede na funkcionalni vidik oz. kriterij funkcionalnosti.



Slika 16: Delne koristi ukrepov glede na kriterij funkcionalnosti

3. Izbira naborov ukrepov pri povsem estetsko naravnem ponderiranju

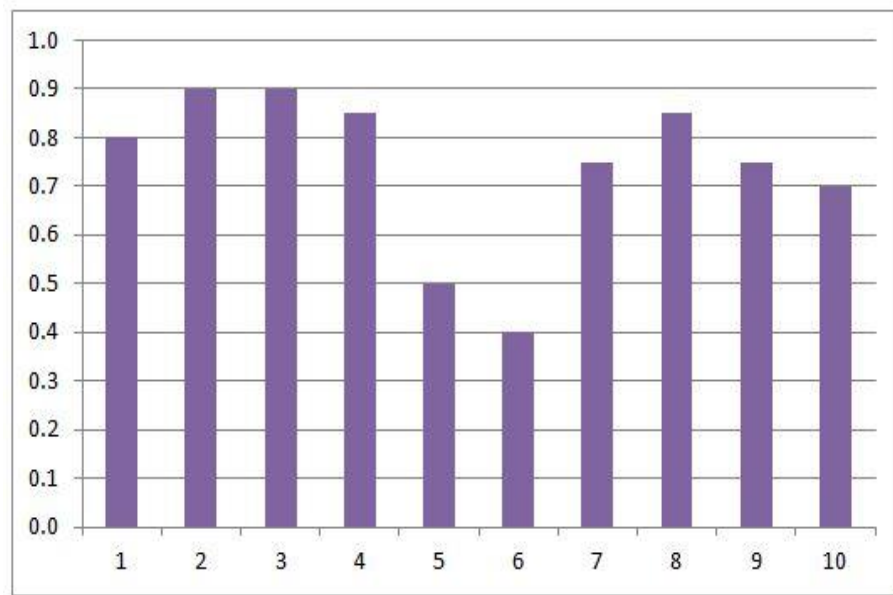
Preglednica 8: Rezultati odločanja glede na estetski kriterij

	O	F	E
Relativna pomembnost kriterijev	0	0	1

	Ukrepi sanacije	O	F	E	Korist	Cena (Eur)	Odločitveni vektor
1	Fasada tipa A (toplotna izolacija kamena volna = 14 cm)	10	0.4	0.8	0.8	9.450,00	0
2	Fasada tipa B (toplotna izolacija kamena volna = 9 cm)	5	0.6	0.9	0.9	8.100,00	1
3	Sanacija strehe 1	8	0.55	0.9	0.9	9.733,40	1
4	Sanacija strehe 2	4	0.4	0.85	0.9	11.096,65	0
5	Toplotna izolacija ostrešja – 25 cm	6	0.75	0.5	0.5	114,62	1
6	Toplotna izolacija ostrešja – 40 cm	8	0.7	0.4	0.4	228,66	0
7	Menjava tlakov v pritličju	8	0.65	0.75	0.8	2.227,51	1
8	Lesena okna	8	0.75	0.85	0.9	6.782,78	1
9	Aluminijasta okna	4	0.7	0.75	0.8	10.298,35	0
10	Plastična okna	6	0.65	0.7	0.7	5.229,16	0
					3.9	26.958,31	5

Komentar: Glede na to, da gre pri estetskem vidiku predvsem za subjektivno oceno, kar pomeni, da ocene temeljijo na željah in okusih posameznikov, je metoda izbrala ukrepe, ki imajo najvišjo oceno glede na estetski vidik. V tem primeru, ko je pomemben le estetski vidik, dobimo torej rešitev, ki ima pri finančni omejitvi 29.000,00 € skupno korist 3.9 ter ceno sanacije 26.958,31 €.

Na sliki 17 so prikazane koristi posameznega ukrepa glede na estetski vidik.



Slika 17: Delne koristi ukrepov glede na estetski kriterij

4. Izbira naborov ukrepov pri večji pomembnosti funkcionalnega in estetskega kriterija

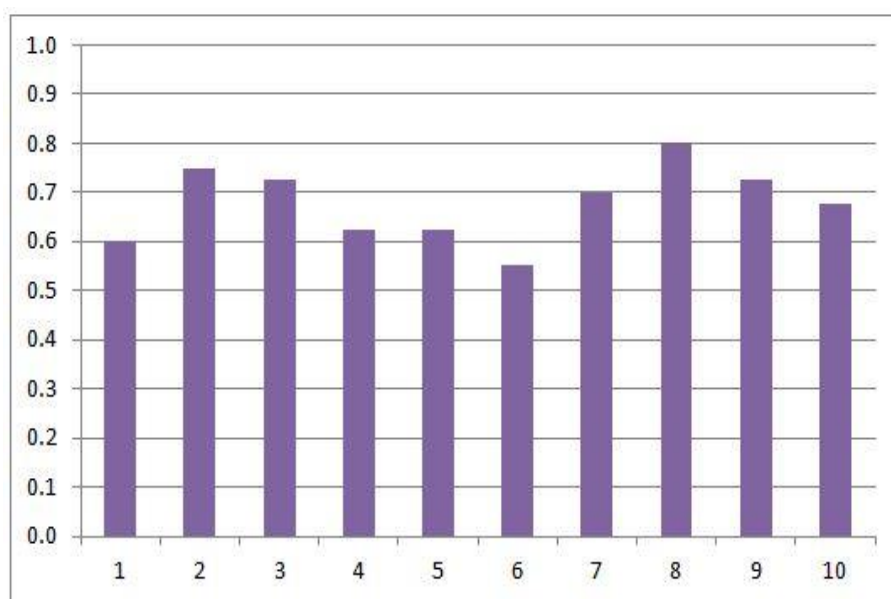
Preglednica 9: Rezultati odločanja glede na funkcionalni in estetski kriterij

	O	F	E
Relativna pomembnost kriterijev	0	0,5	0,5

	Ukrepi sanacije	O	F	E	Korist	Cena (Eur)	Odločitveni vektor
1	Fasada tipa A (toplotna izolacija kamena volna = 14 cm)	10	0.4	0.8	0.6	9.450,00	0
2	Fasada tipa B (toplotna izolacija kamena volna = 9 cm)	5	0.6	0.9	0.8	8.100,00	1
3	Sanacija strehe 1	8	0.55	0.9	0.7	9.733,40	1
4	Sanacija strehe 2	4	0.4	0.85	0.6	11.096,65	0
5	Toplotna izolacija ostrešja – 25 cm	6	0.75	0.5	0.6	114,62	1
6	Toplotna izolacija ostrešja – 40 cm	8	0.7	0.4	0.6	228,66	0
7	Menjava tlakov v pritličju	8	0.65	0.75	0.7	2.227,51	1
8	Lesena okna	8	0.75	0.85	0.8	6.782,78	1
9	Aluminijasta okna	4	0.7	0.75	0.7	10.298,35	0
10	Plastična okna	6	0.65	0.7	0.7	5.229,16	0
					3.6	26.958,31	5

Komentar: Razvidno je, da je v primeru, kjer sta pomembnejša estetski in funkcionalni vidik, cena celotne sanacije enaka kot v primerih, kjer sta pomembna samo estetski ali samo funkcionalni vidik. Samo skupna korist se razlikuje od prejšnjih primerov, ki je sedaj 3.6.

Na sliki 18 so prikazane koristi posameznega ukrepa glede na funkcionalni in estetski vidik.



Slika 18: Delne koristi ukrepov glede na funkcionalni in estetski kriterij

5. Izbira naborov ukrepov pri večji pomembnosti okoljskega in estetskega kriterija

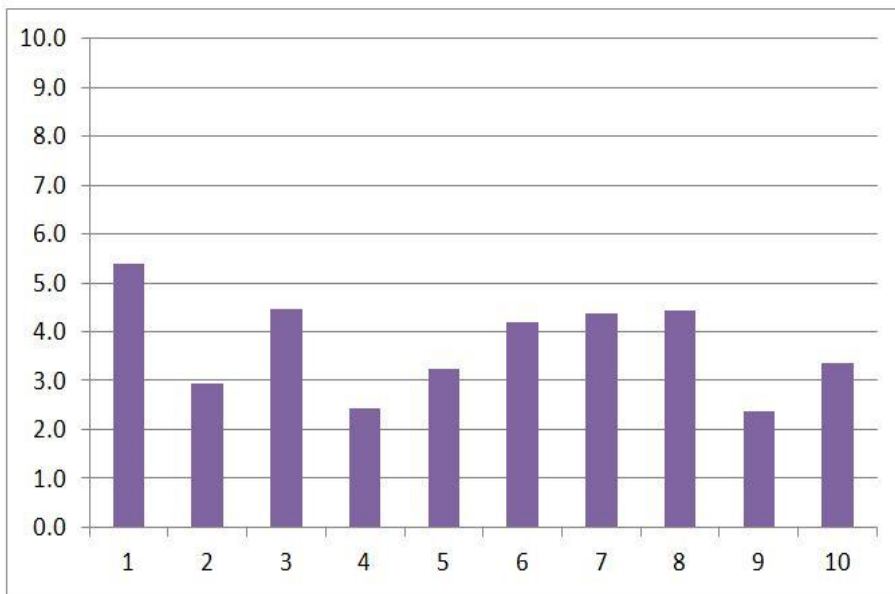
Preglednica 10: Rezultati odločanja glede na okoljski in estetski kriterij

	O	F	E
Relativna pomembnost kriterijev	0,5	0	0,5

	Ukrepi sanacije	O	F	E	Korist	Cena (Eur)	Odločitveni vektor
1	Fasada tipa A (toplotna izolacija kamena volna = 14 cm)	10	0.4	0.8	5.4	9.450,00	1
2	Fasada tipa B (toplotna izolacija kamena volna = 9 cm)	5	0.6	0.9	3.0	8.100,00	0
3	Sanacija strehe 1	8	0.55	0.9	4.5	9.733,40	1
4	Sanacija strehe 2	4	0.4	0.85	2.4	11.096,65	0
5	Toplotna izolacija ostrešja – 25 cm	6	0.75	0.5	3.3	114,62	0
6	Toplotna izolacija ostrešja – 40 cm	8	0.7	0.4	4.2	228,66	1
7	Menjava tlakov v pritličju	8	0.65	0.75	4.4	2.227,51	1
8	Lesena okna	8	0.75	0.85	4.4	6.782,78	1
9	Aluminijasta okna	4	0.7	0.75	2.4	10.298,35	0
10	Plastična okna	6	0.65	0.7	3.4	5.229,16	0
					22.9	28.422,35	5

Komentar: Zanimivo je, koliko višja je skupna korist, ko je med pomembnejše kriterije uvrščeni okoljski kriterij. Iz preglednice 10 je razvidno, da metoda izbire ukrepe, ki imajo najvišjo oceno glede na okoljski kriterij, kar pomeni tudi večjo debelino toplotne izolacije na celotnem ovoju stavbe. Ugotavljamo torej, da v primeru, ko sta pomembna okoljski in estetski vidik, dobimo rešitev, ki ima pri finančni omejitvi 29.000,00 € skupno korist 22.9 ter ceno sanacije 28.422,35 €.

Na sliki 19 so prikazane koristi posameznega ukrepa glede na okoljski in estetski vidik.



Slika 19: Delne koristi ukrepov glede na okoljski in estetski kriterij

6. Izbira naborov ukrepov pri večji pomembnosti okoljskega in funkcionalnega kriterija

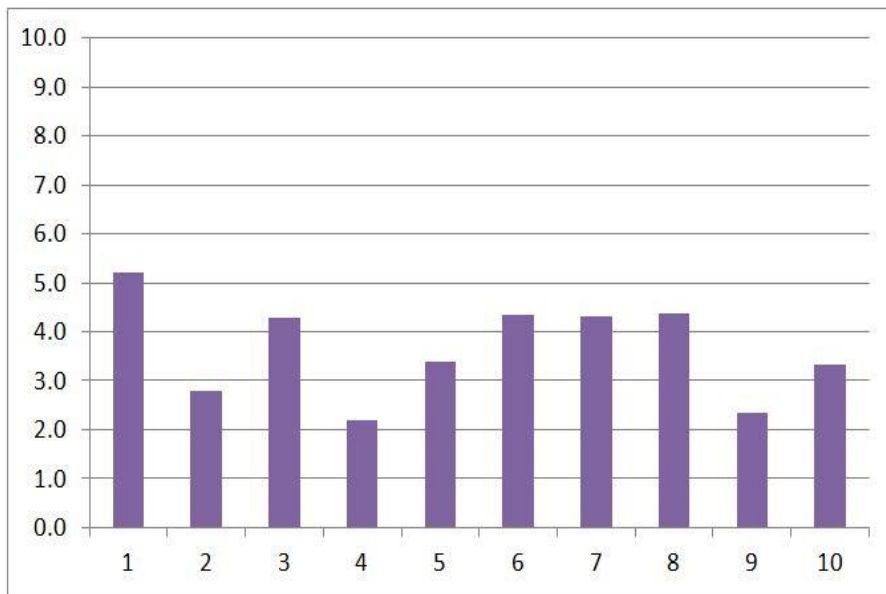
Preglednica 11: Rezultati odločanja glede na okoljski in funkcionalni kriterij

	O	F	E
Relativna pomembnost kriterijev	0,5	0,5	0

	Ukrepi sanacije	O	F	E	Korist	Cena (Eur)	Odločitveni vektor
1	Fasada tipa A (toplotna izolacija kamena volna = 14 cm)	10	0.4	0.8	5.2	9.450,00	1
2	Fasada tipa B (toplotna izolacija kamena volna = 9 cm)	5	0.6	0.9	2.8	8.100,00	0
3	Sanacija strehe 1	8	0.55	0.9	4.3	9.733,40	1
4	Sanacija strehe 2	4	0.4	0.85	2.2	11.096,65	0
5	Toplotna izolacija ostrešja – 25 cm	6	0.75	0.5	3.4	114,62	0
6	Toplotna izolacija ostrešja – 40 cm	8	0.7	0.4	4.4	228,66	1
7	Menjava tlakov v pritličju	8	0.65	0.75	4.3	2.227,51	1
8	Lesena okna	8	0.75	0.85	4.4	6.782,78	1
9	Aluminijasta okna	4	0.7	0.75	2.4	10.298,35	0
10	Plastična okna	6	0.65	0.7	3.3	5.229,16	0
					22.5	28.422,35	5

Komentar: Iz preglednice 11 je razvidno, da se rezultati skoraj ne razlikujejo od prejšnjega primera, le skupna korist je nekoliko drugačna, v tem primeru je 22.5. Cena celotne sanacije pa ostaja enaka.

Na sliki 20 so prikazane koristi posameznega ukrepa glede na okoljski in funkcionalni vidik.



Slika 20: Delne koristi ukrepov glede na okoljski in funkcionalni kriterij

7. Izbira naborov ukrepov, kjer ima okoljski kriterij večjo pomembnost kot ostala dva kriterija

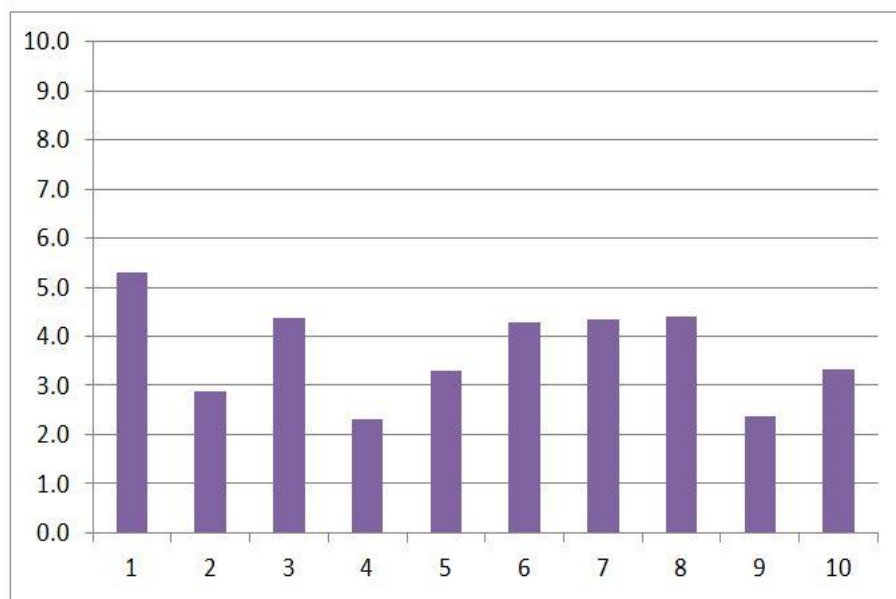
Preglednica 12: Rezultati odločanja v primeru, kjer je okoljski kriterij pomembnejši kot ostala dva kriterija

	O	F	E
Relativna pomembnost kriterijev	0,5	0,25	0,25

	Ukrepi sanacije	O	F	E	Korist	Cena (Eur)	Odločitveni vektor
1	Fasada tipa A (toplotna izolacija kamena volna = 14 cm)	10	0.4	0.8	5.3	9.450,00	1
2	Fasada tipa B (toplotna izolacija kamena volna = 9 cm)	5	0.6	0.9	2.9	8.100,00	0
3	Sanacija strehe 1	8	0.55	0.9	4.4	9.733,40	1
4	Sanacija strehe 2	4	0.4	0.85	2.3	11.096,65	0
5	Toplotna izolacija ostrešja – 25 cm	6	0.75	0.5	3.3	114,62	0
6	Toplotna izolacija ostrešja – 40 cm	8	0.7	0.4	4.3	228,66	1
7	Menjava tlakov v pritličju	8	0.65	0.75	4.4	2.227,51	1
8	Lesena okna	8	0.75	0.85	4.4	6.782,78	1
9	Aluminijasta okna	4	0.7	0.75	2.4	10.298,35	0
10	Plastična okna	6	0.65	0.7	3.3	5.229,16	0
					22.7	28.422.35	5

Komentar: V tem primeru smo predpostavili, da je okoljski vidik pomembnejši kakor estetski in funkcionalni. Metoda ponovno izbire ukrepe, kjer je debelina toplotne izolacije na celotnem ovoju stavbe večja.

Na sliki 21 so prikazane koristi posameznega ukrepa glede na okoljski vidik.



Slika 21: Delne koristi ukrepov v primeru, kjer je okoljski kriterij pomembnejši kot ostala dva kriterija

8. Izbira naborov ukrepov v primeru enakovrednih kriterijev

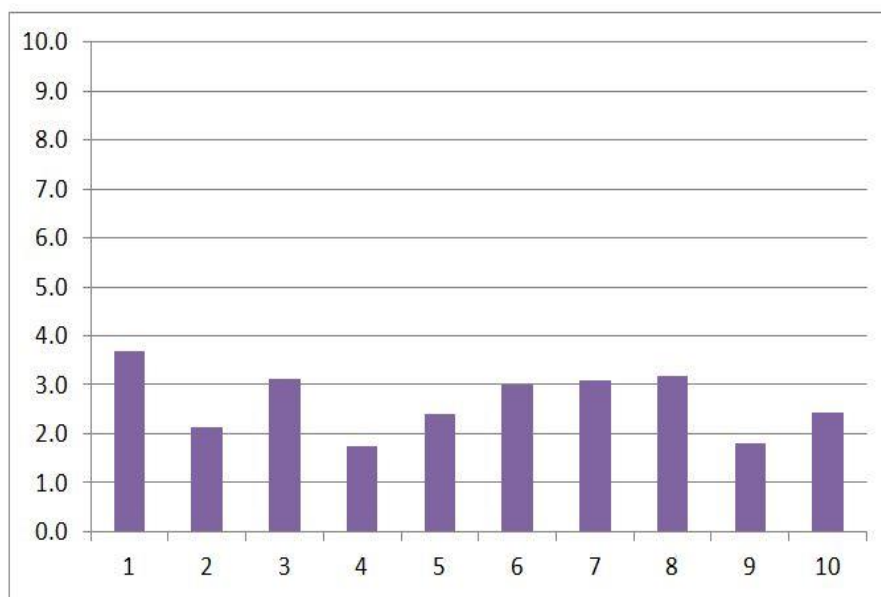
Preglednica 13: Rezultati odločanja glede na enakovredne kriterije

	O	F	E
Relativna pomembnost kriterijev	0,33	0,33	0,33

	Ukrepi sanacije	O	F	E	Korist	Cena (Eur)	Odločitveni vektor
1	Fasada tipa A (toplotna izolacija kamena volna = 14 cm)	10	0.4	0.8	3.7	9.450,00	1
2	Fasada tipa B (toplotna izolacija kamena volna = 9 cm)	5	0.6	0.9	2.1	8.100,00	0
3	Sanacija strehe 1	8	0.55	0.9	3.1	9.733,40	1
4	Sanacija strehe 2	4	0.4	0.85	1.7	11.096,65	0
5	Toplotna izolacija ostrešja – 25 cm	6	0.75	0.5	2.4	114,62	0
6	Toplotna izolacija ostrešja – 40 cm	8	0.7	0.4	3.0	228,66	1
7	Menjava tlakov v pritličju	8	0.65	0.75	3.1	2.227,51	1
8	Lesena okna	8	0.75	0.85	3.2	6.782,78	1
9	Aluminijasta okna	4	0.7	0.75	1.8	10.298,35	0
10	Plastična okna	6	0.65	0.7	2.4	5.229,16	0
					16.1	28.422,35	5

Komentar: V zadnjem primeru smo predpostavili, da imajo vsi kriteriji enako pomembnost. Rezultati kažejo dokaj visoko skupno korist, iz preglednice 13 pa je razvidno, da metoda izbire ukrepe z večjo debelino toplotne izolacije, kar pomeni, da imajo najvišjo oceno glede na okoljski kriterij. Skupna korist je 16.1, cena celotne obnove pa znaša 28.422,35.

Na sliki 22 so prikazane koristi posameznega ukrepa glede na enakovredno vrednotenje vseh vidikov.



Slika 22: Delne koristi ukrepov glede na enakovredno vrednotenje kriterijev

7.4 Izbor ukrepov in skupna dosežena korist pri nizkem finančnem vložku

V prejšnjem poglavju smo predpostavili, da lahko celotna obnova objekta stane največ 29.000,00 €. Želimo pa tudi ugotoviti, kako večanje finančne omejitve vpliva na izbor ukrepov oz. rešitev. Zato ugotavljamo, kaj se zgodi v primeru, če omejitev znižamo na 20.000,00 €. Za relativno pomembnost kriterijev smo izbrali naslednji primer:

- upoštevamo, da je **okoljski kriterij pomembnejši** kot estetski in funkcionalni kriterij – kombinacija 50/25/25;

Preglednica 14: Rezultati odločanja, kjer ima okoljski kriterij največjo pomembnost pri nizkem finančnem vložku

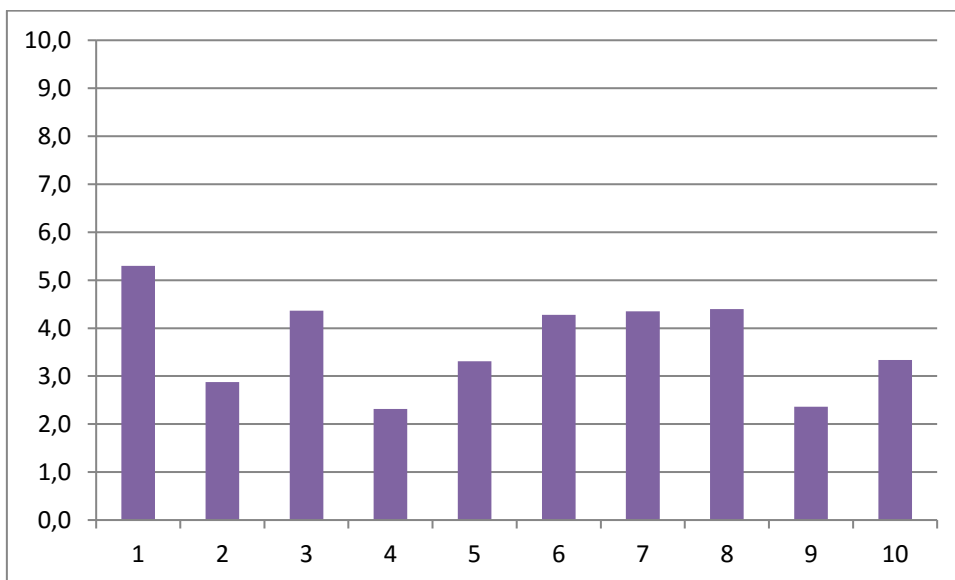
	O	F	E
Relativna pomembnost kriterijev	0,5	0,25	0,25

	Ukrepi sanacije	O	F	E	Korist	Cena (Eur)	Odločitveni vektor
1	Fasada tipa A (toplotna izolacija kamena volna = 14 cm)	10	0.4	0.8	5.3	9,450.00	0
2	Fasada tipa B (toplotna izolacija kamena volna = 9 cm)	5	0.6	0.9	2.9	8,100.00	1
3	Sanacija strehe 1	8	0.55	0.9	4.4	9,733.40	1
4	Sanacija strehe 2	4	0.4	0.85	2.3	11,096.65	0
5	Toplotna izolacija ostrešja – 25 cm	6	0.75	0.5	3.3	114.62	1
6	Toplotna izolacija ostrešja – 40 cm	8	0.7	0.4	4.3	228.66	0
7	Menjava tlakov v pritličju	8	0.65	0.75	4.4	2,227.51	0
8	Lesena okna	8	0.75	0.85	4.4	6,782.78	0
9	Aluminijasta okna	4	0.7	0.75	2.4	10,298.35	0
10	Plastična okna	6	0.65	0.7	3.3	5,229.16	1
					12.5	20,000.00	4

Komentar: Iz preglednice 14 je razvidno, da metoda v tem primeru izbere samo 4 sanacijske ukrepe. To pa zato, ker je finančna omejitev tako nizka, da ne more izbirati med vsemi skupinami ukrepov. Razvidno je, da metoda ni izbrala ukrepa »menjava tlakov v pritličju«, saj gre za prevelik finančni zalogaj. Poleg tega lahko vidimo, da so izbrani ukrepi sanacije, ki imajo najvišjo oceno glede na funkcionalni kriterij. To pomeni, da je izbrane ukrepe lažje izvesti ter

je za njihovo izvedbo potrebne manj zahtevnosti, posledično pa je izbrana manjša debelina toplotne izolacije.

Na sliki 23 so prikazane koristi posameznega ukrepa pri nizkem finančnem vložku, kjer je okoljski kriterij pomembnejši kot ostala dva kriterija.



Slika 23: Delne koristi ukrepov pri nizkem finančnem vložku, kjer je okoljski kriterij pomembnejši kot ostala dva kriterija

8 ANALIZA ŽIVLJENJSKEGA CIKLA – LCA

Analiza življenjskega cikla proizvoda (Life cycle Assessment – LCA) postaja pomemben del upravljanja z okoljem. Razvoj te metode je s strani mednarodne organizacije za standardizacijo (ISO) privedel do povečanega zanimanja za načrtovanje izdelkov, ki upošteva tudi okoljske vplive izdelka. Analizo življenjskega cikla lahko uporabljamo za zmanjševanje vpliva industrije na okolje, istočasno pa za odkrivanje možnosti za ekonomično in naravi prijazno upravljanje.

8.1 Splošno

Analiza življenjskega cikla proizvoda – LCA je tehnika, s katero se vrednoti okoljske vplive določenih proizvodov preko celotnega življenjskega cikla. Ta analiza omogoča okoljske primerjave dveh ali več produktov, narejenih iz različnih osnovnih materialov, ki so uporabljeni za enak namen. Pri gradnji objektov se uporabljajo gradbeni proizvodi in materiali, ki pa imajo na okolje velik vpliv. Potrebno je preučiti izvor materialov, kakšna je njihova predelava oziroma proizvodnja v izdelek ter njihova uporaba v stavbah, na koncu pa tudi njihovo odstranjevanje ali recikliranje.

Pri analizi LCA obravnavamo vpliv materialov oziroma izdelkov na okolje v vseh štirih glavnih fazah življenjskega cikla: pridobivanje surovin, proizvodnja (gradnja), uporaba in vzdrževanje, recikliranje in upravljanje z izdelkom (objektom) po uporabi.

- Pridobivanje (izkop) surovin: sekanje dreves, izkop neobnovljivih materialov ter drugi procesi, vključno s transportom pridobljenih surovin na mesto predelave);
- Proizvodnja: v tej fazi se pripeljane surovine preoblikuje v izdelke, ki se jih nato transportira do uporabnikov;
- Uporaba, vzdrževanje: faza se začne v trenutku, ko preide izdelek v roke uporabnika. Faza vključuje tudi zahtevo po energiji in obremenjevanje okolja z rabo ali s skladiščenjem izdelka;
- Upravljanje z odpadki: vključuje energijo, ki je potrebna za to fazo in obremenjevanje okolja zaradi upravljanja z izdelkom po uporabi (Matelič, 2006).

S pomočjo LCA analize lahko določimo vplive produktov na okolje z zbiranjem podatkov o vseh surovinah in o količini energije, ki se v življenjski dobi produkta porabijo, ter podatkov o količini emisij v vodo, zrak in tla, ki so sproščene v okolje v celotnem življenjskem ciklu izdelka.

Vplive izdelkov na okolje določimo tudi z ocenjevanjem oz. vrednotenjem vplivov na okolje ter s pravilno interpretacijo rezultatov.

Za analizo življenjskega cikla velja, da je sistematična fazna metoda, sestavljena iz štirih delov:

1. Zastavljanje cilja in obsega analize (obseg, v katerem se bo izvajala študija, ter vplivi na okolje, ki bodo predmet analize).
2. Določitev inventarja življenjskega cikla (potrebno je ugotoviti količino porabljene energije, vode in surovin ter emisij v vodo, tla in zrak).
3. Vrednotenje vplivov (potrebno je ovrednotiti vplive, ki jih imajo uporabljena energija, voda in surovine na človeka in njegovo okolje).
4. Interpretacija življenjskega cikla (ovrednotimo rezultate z namenom, da ugotovimo ustreznost izdelkov, procesa ali storitve) (ISO 14040, 1997).

Bistvo te metode je, da nam pri izbiri med dvema alternativama s pomočjo primerjanja obeh izdelkov, procesov ali storitev pomaga izbrati ugodnejšo.

8.2 Prednosti uporabe LCA

Analiza življenjskega cikla nam je v pomoč pri izbiri izdelka, ki ima najmanjši učinek na okolje z vidika negativnih vplivov. To informacijo lahko uporabimo pri iskanju okoljevarstvenih rešitev ter pri iskanju ekonomičnih in kakovostnih izdelkov.

Za primer vzemimo primerjanje dveh sorodnih izdelkov. Na prvi pogled se zdi, da je za okolje prijaznejši »Izdelek A«, ker v življenjskem ciklu »Izdelka B« pridelamo večjo količino trdnih odpadkov. Vendar se po uporabi LCA lahko izkaže, da ima »Izdelek A« izredno večji vpliv na okolje z dodajanjem strupenih snovi v vodo, tla in zrak. Na koncu s primerjavo rezultatov ugotovimo, da je »Izdelek B« z manjšimi emisijami v vodo, tla in zrak boljša izbira, kljub večji količini trdnih odpadkov (Matelič, 2006).

Zaključimo lahko, da LCA omogoča tako proizvajalcu kot tudi kupcu izdelka odločitev za optimalno tehnologijo oz. izdelek glede na okoljske vplive, ki jih ta izdelek ustvarja v celotnem toku svojega življenjskega cikla.

8.3 Omejitve pri uporabi LCA

Pri izvajanju analize življenjskega cikla je eden najpomembnejših vplivov na točnost rezultatov razpoložljivost podatkov. Prav zaradi tega je potrebno predhodno oceniti čas, ki je potreben za izvedbo študije, ter dostopnost do podatkov, saj lahko glede na želeno natančnost analize postane pridobivanje potrebnih podatkov precej težavno in zamudno opravilo.

Pomembno se je zavedati, da analiza LCA uporabniku ne daje odgovorov na vprašanja, kateri od izdelkov je cenejši ali kvalitetnejši, ampak bi bilo smiselno rezultate analize uporabiti v razširjenem procesu izbiranja ustreznega izdelka le kot dodaten, vendar pomemben kazalec poleg cene in kakovosti.

8.4 Vključitev metode LCA v predlagani model odločanja

Predlagani odločitveni model bi bilo smiselno uporabiti v nadgradnji predstavljenega modela odločanja oz. izbire ukrepov, seveda pa se je ob tem potrebno zavedati, da zahteva metoda LCA kakovostne podatke o okoljskih vplivih posameznih vgrajenih proizvodov, kakor tudi procesov vgrajevanja posameznih gradbenih proizvodov. Gre za obsežne podatke, katerih pridobitev je izjemno zahtevna (pogosto tudi poslovna skrivnost proizvajalca) ter kot taka presega obseg tega dela.

9 ZAKLJUČEK

V gradbeništvu se v zadnjih letih vse pogosteje srečujemo s prenovami objektov, kar pa je predvsem posledica trenutnih ekonomskih razmer, saj je obnova določenega objekta dostikrat ugodnejša oziroma predstavlja nižji strošek kot novogradnja podobnega objekta. Poleg tega pa je tudi dejstvo, da je v razvitih državah število obstoječih objektov vse večje. Pri načrtovanju sanacijskih ukrepov posamezne stavbe je pomembno predvsem dobro poznavanje le-te.

V našem primeru smo predpostavili, da pri prenovi obravnavane enostanovanjske stavbe ne bomo posegali v nosilno konstrukcijo, tako da je naša izbira ukrepov obnove temeljila predvsem na energijski sanaciji hiše. Odprtine (okna in vrata) so tisti del ovoja stavbe, skozi katerega se nenadzorovano izgublja največ toplote. To je tudi razlog, da je menjava dotrajanega stavbnega povišstva prvi ukrep, ko se lotevamo celovite energetske obnove hiše. Menjavi oken sledi toplotna izolacija zunanjih sten oziroma v našem primeru izvedba nove fasade, menjava tlakov v pritličju, dodatna toplotna izolacija ostrešja ter celotna sanacija strehe.

Pri izbiri ukrepov smo upoštevali zakonodajo o energetski učinkovitosti stavb: Zakon o graditvi objektov, Energetski zakon ter Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES2010), ki določa tehnične zahteve, ki morajo biti izpolnjene za učinkovito rabo energije v stavbah.

Za uspešno obnovo posameznega objekta z namenom, da v večji meri izpolni zahteve uporabnika pri določeni finančni omejitvi, je potrebno uporabiti racionalne metode za izbiro sanacijskih ukrepov. V magistrskem delu smo predstavili optimizacijsko metodo, ki lahko investitorju in projektantu pomaga pri odločanju o izbiri najoptimalnejšega nabora možnih ukrepov obnove pri danem finančnem vložku. Uporabljena metoda spada pod metode večkriteriskega odločanja, ki smo jo kasneje nadgradili s pomočjo uporabe nahrbtnika in optimizirali izbiro nabora ukrepov z upoštevanjem finančne omejitve investicije.

Izdelano računalniško orodje Solver MS Excel smo preverili na primeru obnove enodružinske stanovanjske stavbe, ki upošteva kriterije okoljevarstvenosti, funkcionalnosti in estetike. Orodje je enostavno in hitro za uporabo. Rezultat izdelanega programa je seznam izbranih ukrepov in njihova skupna dosežena korist. Na podlagi vnaprej določenih relativnih pomembnosti posameznih kriterijev, smo program uporabili za študij dobljene skupne koristi z upoštevanjem spreminjajoče se finančne investicije.

Naše ugotovitve so:

- metoda nahrbtnika je najuspešnejša pri velikem številu ukrepov obnove (v našem smolu jih imeli relativno malo);
- pomembno je, da pravilno in dosledno zastavimo vse omejitve;
- učinkovitost metode je odvisna od izbire kriterijev in natančnosti ovrednotenja ukrepov glede na izbrane kriterije;
- relativna pomembnost posameznih kriterijev mora biti jasno definirana s strani investitorja, kar olajša končno izbiro.

Potrebno je omeniti, da obstaja tudi slabost metode, in sicer da je potrebno za vsak primer posebej zmodelirati model, saj ne obstaja splošen model, ki bi ga bilo mogoče uporabiti na vseh možnih primerih. Inženirju modeliranje vzame kar nekaj časa, če pogledamo z druge strani, pa je to dobro, saj se je tako primoran poglobiti v problem.

Ugotovili smo, da je skupna dosežena korist večja pri višjem finančnem vložku. Ob tem je pomembno poudariti, da je relativno vrednotenje ukrepov, uporabljeno v magistrskem delu, prva ocena. Potrebno se je zavedati, da je vrednotenje posameznega ukrepa zlasti glede na funkcionalni in estetski kriterij povsem subjektiven proces, posledično pa je dobljena rešitev od tega vrednotenja, pa tudi od vrste odločevalca, močno odvisna (Kocjančič, 2006).

Z natančno analizo življenjskega cikla proizvoda bi se močno izboljšala natančnost ovrednotenja okoljskih ocen izbranih ukrepov, s tem pa bi se izničila subjektivnost ocenjevanja. Glede funkcionalnosti posameznih ukrepov bi bila dobra rešitev ustanovitev strokovnega tima, ki bi ga sestavljali izkušeni strokovnjaki iz različnih področij, saj strokovne ocene zelo izboljšajo kakovost ocenjevanja. Predstavljen model je učinkovito orodje, ki je v pomoč odločevalcu – investitorju ali projektantu, da pri določenem finančnem vložku dobi optimalen nabor ukrepov sanacije, ki rezultirajo v največji možni skupni koristi za uporabnika ali investitorja.

VIRI

Agenda 21 on sustainable construction, CIB Report – Publication No.237, CIB, 1999, Rotterdam, 121 str.

Alanne, K. 2004. Selection of renovation actions using multi-criteria »knapsack« model. Automation in Construction 13: 377-391.

Bohanec, M. 2006, Odločanje in modeli. Odločanje: 3-10.

Deu, Ž. 2005. Živa Deu: Pri vsaki obnovi stare stavbe, naj bo še tako skromna, naj sodeluje strokovnjak.

<http://gradbenistvo.finance.si/125845?cctest&&cookietime=1473663948>

(Pridobljeno dne 15 .5. 2016.)

Direktiva EPBDr. Direktiva 2010/31/EU Evropskega parlamenta in Sveta o energetske učinkovitosti stavb. Uradni list Evropske unije 153/13/2010.

Durable concrete structures - Design Guide 1992, London, Comite Euro-International du Beton (CEB), Thomas Telford Services.

EZ-1. Energetski zakon (EZ-1). Uradni list RS št. 17–538/2014: 1787.

Flourentzou, F., Roulet, C.-A. 2002. Elaboration of retrofit scenarios. Energy and Buildings 34: 185-192.

Gustafsson, S.-I. 1998. Mixed integer linear programming and building retrofits. Energy and Buildings 28: 191-196.

Building the future: Four innovation trends that are shaping green construction. 2016. <https://www.epo.org/news-issues/technology/sustainable-technologies/green-construction.html> (Pridobljeno dne 23. 9. 2016.)

ISO 14040, 1997. Environmental management – Life cycle assessment – Principles and framework. 11 str.

ISO 15686-1 2000, Geneva, International Standards Organization: str. 41.

Izračun stroška strehe. 2016

http://www.topdom.si/si/katalog-streh/izracun_stroska_strehe.htm

(Pridobljeno dne 15. 6. 2016.)

Kocjančič, B. 2006. Izbira ukrepov obnove stanovanjske zgradbe ...večkriterijske metode odločanja. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Organizacijsko tehnološka smer: str. 30-40.

Košir, M. Kvaliteta bivalnega okolja v stavbah, izziv sodobne gradnje?

<http://www.dps.si/kvaliteta-bivalnega-okolja-v-stavbah-izziv-sodobne-gradnje>

(Pridobljeno dne 21. 6. 2016.)

Krainer, A. 2003. Zgradba, okolje in energija (prosojnice). Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Lisjak, L. 2014. Stroškovna primerjava variantnih zasnov enostanovanjskega objekta. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Konstrukcijska smer: str. 62-83.

Matelič, G. 2006. Metoda analize življenjskega cikla (LCA) kot metoda za odločanje v gradbeni proizvodnji. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Organizacijsko tehnološka smer: str. 5-8.

Rosenfeld, Y., Shohet, I. M. 1999. Decision support model for semi-automated selection of renovation alternatives. *Automation in Construction* 8: 503-510.

Ott, K. 2003. "The Case for Strong Sustainability." In: Ott, K. & P. Thapa (eds.) (2003). *Greifswald's Environmental Ethics*. Greifswald: Steinbecker Verlag Ulrich Rose. ISBN 3931483320. Retrieved on: 2009-02-16.

Our common future 1987, Oxford, Oxford Press. Chapter 2.

PURES2010. Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah. Uradni list RS št. 52–2856/2010: 7840.

Šelih, J. 1996. Življenjska doba gradbenih objektov, Sodobni materiali in sistemi za kakovostno gradnjo, zbornik referatov, Gradbeni center, Ljubljana: 7-19.

Vianna, D., Vianna, M. 2013. Local search-based heuristics for the multiobjective multidimensional knapsack problem. Producao: 478-487.

Vodopivec, B., Šelih, J., Žarnić, R., Interdisciplinarna opredelitev prioritete obnove stavbne dediščine na primeru gradov, Annales, Series historia et sociologia, ISSN 1408-5348, 2015, letn. 25, št. 1, str. 1-18.

Tomšič, M. Gradbeni materiali in URE: »In zdaj nekaj povsem drugega«?

[http://www.gi-zrmk.si/media/uploads/public/document/27-](http://www.gi-zrmk.si/media/uploads/public/document/27-gradbeni_materiali_in_ure_in_zdaj_nekaj_povsem_drugega_sl.pdf)

[gradbeni_materiali_in_ure_in_zdaj_nekaj_povsem_drugega_sl.pdf](http://www.gi-zrmk.si/media/uploads/public/document/27-gradbeni_materiali_in_ure_in_zdaj_nekaj_povsem_drugega_sl.pdf)

(Pridobljeno dne 10. 6. 2016.)

TSG-1-004:2010. Tehnična smernica. Učinkovita raba energije. 2010. Republika Slovenija. Ministrstvo za okolje in prostor. 106 str.

ZGO-1. Zakon o graditvi objektov (ZGO-1-UPB1). Uradni list RS št. 102–44398/2004: 12358.