

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Univerzitetni program gradbeništvo,
Organizacijsko tehnološka smer

Kandidat:

Boštjan Kocjančič

Izbira ukrepov obnove stanovanjske zgradbe s pomočjo večkriterijske metode odločanja

Diplomska naloga št.: 2874

Mentor:

izr. prof. dr. Jana Šelih

Ljubljana, 23. 3. 2006

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **BOŠTJAN KOCJANČIČ** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom:
**»IZBIRA UKREPOV OBNOVE STANOVANJSKE ZGRADBE S POMOČJO
VEČKRITERIJSKE METODE ODLOČANJA«.**

Izjavljam, da se odpovedujem vsem materialnim pravicam iz dela za potrebe elektronske
separatoteke FGG.

Ljubljana, 03.03.06

(podpis)

IZJAVE O PREGLEDU NALOGE

Nalogo so si ogledali učitelji organizacijsko tehnološke smeri:

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 65.012:69.059(043.2)
Avtor: Boštjan Kocjančič
Mentor: Doc. dr. Jana Šelih
Naslov: Izbira ukrepov obnove stanovanjske zgradbe s pomočjo
večkriterijske metode odločanja
Obseg in oprema: 83 str., 29 pregl., 11 sl.
Ključne besede: večkriterijske metode odločanja, optimizacija, operacijske
raziskave, obnova, večstanovanjska stavba

Izvleček

Večinski delež današnjega stanovanjskega fonda je tako v Sloveniji kot po Evropi bil zgrajen v obdobju med leti 1946 in 1980. Danes so te stavbe in predvsem njihovi ovoji pogosto v dotrajanem stanju in ne izpolnjujejo zahtev današnjih standardov. Ker je obnova objektov pogosto bolj zaželjena kot njihova odstranitev, se obseg obnovitvenih del na stanovanjskih stavbah zadnja leta konstantno povečuje v vseh razvitih deželah. Ob tem se je potrebno zavedati, da so razpoložljiva finančna sredstva praktično vedno omejena. Če želimo doseči kar najbolj ustrezno obnovo, ki bo obenem tudi stroškovno učinkovita, moramo torej pri načrtovanju obnove in njenih ukrepov uporabljati racionalne pristope in metode.

Diplomsko delo predstavlja zato odločitveno orodje za izbiro optimalnega niza ukrepov iz celotnega nabora možnih (alternativnih) ukrepov obnove. Orodje temelji na metodi za večkriterijsko odločanje, v katero s pomočjo reševanja problema nahrbtnika vključimo finančne omejitve in medsebojne pogoje kompatibilnosti posameznih ukrepov. Pri tem upošteva pri vrednotenju posameznih ukrepov več različnih kriterijev in določa skupno korist izbranega niza. Delo opisuje teoretično podlago metode in preverja uporabnost izdelanega orodja na primeru obnove večstanovanjske stavbe. Študija izbranega primera kaže, da je izdelano orodje lahko uspešen pripomoček pri izbiri niza ukrepov obnove pri dani finančni omejitvi, pri čemer se investitor ali projektant sama odločata, katerim vidikom bosta pripisala večjo pomembnost.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 65.012:69.059(043.2)
Author: Boštjan Kocjančič
Supervisor: Assist. Prof. Jana Šelih
Title: Selection of retrofit actions using multi-criteria decision method
Notes: 83 pg., 29 tab., 11 fig.
Key words: multi-criteria decision making methods, optimization, operational research, renovation, multi-dwelling building

Abstract

Majority of today's building stock in Slovenia as well as in other European countries was built in the period between 1946 in 1980. Today, these buildings and their envelopes are often deteriorated and do not fulfill the requirements of contemporary standards. Rehabilitation of buildings is often preferred to their demolition, consequently, increasing quantity of renovation works can be observed in all developed countries over the past decade. Limited financial funds are usually available for the rehabilitation, therefore a rational approach has to be employed if an appropriate and financially efficient rehabilitation is to be carried out.

The thesis is presenting a decision tool to be used for selection of a set of retrofit actions out of the whole range of available actions. The tool is based on multi-criteria decision method, where the financial limitation and eventual actions' incompatibility are included and solved by the knapsack problem. Several different criteria are used for the evaluation of each action under consideration, and total utility of all actions selected is determined. Theoretical background of the tool is described. The applicability of the tool is demonstrated by a case study of a multi-dwelling building. The results show that the model can be a useful tool for the owner or designer in the beginning of the design process, when a set of rehabilitation actions employed has to be determined. One of the advantages of the presented tool is that the decision-maker assigns the relative importance to the selected individual criteria.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. Jani Šelih za strokovne napotke pri pripravi diplomskega dela. Zelo sem hvaležen Petru, Mateji in Igorju ter vsem, ki so mi kakorkoli pomagali pri nastanku diplome. Posebna zahvala gre moji puncu Tanji, ki mi je kot vedno stala ob strani. Najbolj pa sem hvaležen staršema, ki sta mi omogočila študij in bratu, ki me vedno vzpodbujajo in so mi v oporo.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
1.1 Predstavitev problema	1
1.1.1 Filozofija trajnostnega razvoja in trajnostne gradnje	5
1.2 Namen naloge.....	8
1.3 Pregled vsebine naloge	9
2. OSNOVE NAČRTOVANJA ŽIVLJENJSKE DOBE GRADBENIH OBJEKTOV	11
2.1 Življenjska doba gradbenega objekta	11
2.2 Načrtovanje življenjske dobe v posameznih fazah projektiranja.....	12
2.3. Specifikacije	14
2.4 Karakterizacija okolja	15
2.5 Začetna ocena stroškov	16
2.6 Načrt vzdrževanja	16
2.7 Zahteve za obnašanje in sprejemljivost	17
2.8 Napovedovanje življenjske dobe (»service life forecasting«)	18
2.9 Napovedovanje življenjske dobe (»service life prediction«), ki temelji na oceni izpostavljenosti in nivoja obnašanja	20
2.10 Metoda faktorjev (»factor method«)	22
2.10.1 Modifikacijski faktorji.....	25
2.10.2 Finančni in okoljski stroški in njihovo spreminjanje s časom	25
2.11 Zastarelost, fleksibilnost in ponovna uporaba.....	27
2.12 Sklepne misli o življenjski dobi gradbenega objekta	28
3. TEORETIČNE OSNOVE IZBIRE UKREPOV OBNOVE	30
3.1 Večkriterijske metode odločanja (MCDM)	30
3.2 Metoda nahrbtnika.....	37
3.3 Izbira kriterijev za ocenjevanje	40
4 PRIMER	44
4.1 Splošna predstavitev objekta.....	44
4.1.1 Ocena stanja objekta.....	45
4.2 Izhodišni primer	50
4.3 Analiza občutljivosti.....	56
4.4 Spreminjanje finančnega vložka v obnovo (finančne omejitve)	67
4.4.1 Vpliv višine finančnega vložka na izbor ukrepov obnove	67
4.4.2 Vpliv višine finančnega vložka na skupno doseženo korist.....	67
4.5 Vpliv kombinacije ponderjev za kriterije na doseženo korist.....	70
5 ZAKLJUČKI	73
VIRI	76
Uporabljeni viri	76
Ostali viri.....	77
PRILOGE	
Priloga A: Rešitve pri finančni omejitvi 22 mio SIT	
Priloga B: Rešitve pri finančni omejitvi 24 mio SIT	
Priloga C: Rešitve pri finančni omejitvi 26 mio SIT	
Priloga D: Rešitve pri finančni omejitvi 30 mio SIT	
Priloga E: Rešitve pri finančni omejitvi 35 mio SIT	
Priloga F: Rešitve pri neomejeni finančni omejitvi	

KAZALO SLIK

Slika 1.1: Spreminjanje števila obnovljenih stanovanj v Sloveniji s časom (SURs, 1998-..... 3 2004).....	3
Slika 1.2: Nov pristop v globalnem kontekstu gradnje (Agenda 21, 1999).....	7
Slika 2.1: Življenjska doba gradbenega objekta (Šelih, 1996).....	12
Slika 2.2: Proces napovedovanja življenjske dobe, vgrajen v fazo projektiranja (ISO 15686-1, 2000).....	13
Slika 3.1: Iterativni, ciklični odločitveni proces v konceptualni fazi projektiranja (Alanne, 2004).....	32
Slika 3.2: Drevesno strukturiran model kriterijev (Alanne, 2004).....	33
Slika 4.1: Drevo kriterijev primera sanacije stanovanjskega objekta.....	44
Slika 4.2: Večstanovanjska stavba zgrajena leta 1960 (Šijanec in Šelih, 2005).....	45
Slika 4.3: Sestava sten tipa A in B po in pred posegom.....	46
Slika 4.4: Spreminjanje skupne dosežene koristi z večanjem finančne omejitve pri.....	69
izbranih kombinacijah ponderjev za kriterije.....	69
Slika 4.5: Vpliv ponderjev na doseženo korist pri finančni omejitvi 10, 20 in 35 mio SIT.....	71

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1.1: Splošni statistični podatki o slovenskem stanovanjskem fondu (Žarnić, Šelih, 2004).....	2
Preglednica 1.2: Deleži vrednosti opravljenih gradbenih del po vrsti gradbene aktivnosti Slovenije – avgust 2005 (SURS, 2005).....	4
Preglednica 3.1 Seznam ponderjev stopenjske metode (Alanne, 2004).....	34
Preglednica 3.2: Povezava med definicijo koristi in prilagojenimi vrednostmi (Alanne, 2004).....	35
Preglednica 4.1: Spisek ukrepov sanacije, cen in okoljske F_o , funkcionalne F_f ter estetske F_e ocene vseh ukrepov	47
Preglednica 4.2: Izbrane stopnje pomembnosti (načini ponderiranja) za posamezne kriterije (okoljski/funkcionalni/estetski).....	52
Preglednica 4.3: Izhodiščni primer – cene in dosežene koristi dobljenih 18-tih variantnih rešitev, v primeru, da temelji izbira le na okoljskem kriteriju	53
Preglednica 4.4a: Izhodiščni primer: dobljene variantne rešitve v primeru, da temelji izbira le na trajnostnem (okoljskem) vidiku (1=izbran ukrep, 0=neizbran ukrep).....	54
Preglednica 4.4b: Izhodiščni primer: dobljene variantne rešitve v primeru, da temelji izbira na ostalih kombinacijah pomembnosti kriterijev (1=izbran ukrep, 0=neizbran ukrep).....	55
Preglednica 4.5: Faktorji, ki jih upoštevamo v analizi občutljivosti (označeni s temnejšo barvo).....	57
Preglednica 4.6a: Prikaz originalnih in spremenjenih rešitev pri spreminjanju okoljskih faktorjev $F_{o,3}$ in $F_{o,9}$ pri finančni omejitvi 20 mio SIT.....	58
Preglednica 4.6b: Prikaz originalnih in spremenjenih rešitev pri spreminjanju okoljskih faktorjev $F_{o,3}$ in $F_{o,9}$ pri finančni omejitvi 30 mio SIT (originalni in spremenjena rešitev "D" so dobljene pri kombinaciji ponderjev 50/50/0; originalna in spremenjena rešitev "E" sta dobljeni pri kombinaciji ponderjev 33/33/33).....	59
Preglednica 4.6c: Prikaz originalnih in spremenjenih rešitev pri spreminjanju funkcionalnega faktorja $F_{f,3}$ pri finančni omejitvi 20 mio SIT (originalna in spremenjena rešitev "F" sta dobljeni pri kombinaciji ponderjev 50/50/0; originalni in spremenjena rešitev "G" so dobljene pri kombinaciji ponderjev 33/33/33).....	60
Preglednica 4.6d: Prikaz originalnih in spremenjenih rešitev pri spreminjanju funkcionalnih faktorjev $F_{f,3}$ in $F_{f,6}$ pri finančni omejitvi 30 mio SIT (originalna in spremenjena rešitev "H" sta dobljeni pri kombinaciji ponderjev 50/50/0; originalna in spremenjena rešitev "I" sta dobljeni pri kombinaciji ponderjev 0/50/50).....	61
Preglednica 4.6e: Prikaz originalnih in spremenjenih rešitev pri spreminjanju estetskega faktorja $F_{e,11}$ pri finančni omejitvi 20 mio SIT (originalni in spremenjene rešitve "J" so dobljene pri kombinaciji ponderjev 0/0/100)	62
Preglednica 4.6f: Prikaz originalnih in spremenjenih rešitev pri spreminjanju estetskega faktorja $F_{e,28}$ pri finančni omejitvi 20 mio SIT (originalne in spremenjene rešitve "K" so dobljene pri kombinaciji ponderjev 0/0/100; originalna in spremenjena rešitev "L" sta dobljeni pri kombinaciji ponderjev 50/0/50).....	63
Preglednica 4.6g: Prikaz originalnih in spremenjenih rešitev pri spreminjanju estetskih faktorjev $F_{e,6}$ in $F_{e,11}$ pri finančni omejitvi 30 mio SIT (originalna in spremenjena rešitev "M" sta dobljeni pri kombinaciji ponderjev 33/33/33; originalna in spremenjena rešitev "N" sta dobljeni pri kombinaciji ponderjev 33/33/33).....	64

Preglednica 4.6h: Prikaz originalnih in spremenjenih rešitev pri spreminjanju estetskega faktorja $F_{e,28}$ pri finančni omejitvi 30 mio SIT (originalne in spremenjene rešitve "O" so dobljene pri kombinaciji ponderjev 50/0/50; originalne in spremenjene rešitve "P" so dobljene pri kombinaciji ponderjev 0/0/100).....	65
Preglednica 4.7: Rešitve pri različnih finančnih omejitvah, za kombinacijo ponderjev 33/33/33.....	68
Preglednica 4.8: Skupna dosežena korist pri spremenljivih finančnih omejitvah in različnih kombinacijah ponderjev za kriterije.....	69
Preglednica 4.9: Dobljene rešitve pri finančni omejitvi 10 mio SIT.....	70
Preglednica 4.10: Vpliv kombinacije ponderjev na doseženo korist.....	72

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

ISO	International Standards Organization (Mednarodna organizacija za standardizacijo)
MCDM	Multicriteria decision-method (večkriterijska metoda odločanja)
LCA	Life cycle assessment (analiza življenjskega cikla)
LCC	Life cycle costs (stroški življenjskega cikla)
HVAC	Heat, ventilation and air condition (ogrevalno-hladilno-prezračevalni sistem)
ICT	Information communication technology (komunikacijsko informacijska tehnologija)
SŽC	Stroški življenjskega cikla

1 UVOD

1.1 Predstavitev problema

Obdobje med leti 1946 in 1980 je bilo v Evropi zaznamovano s številnimi socialnimi in ekonomskimi spremembami. Na področju gradbeništva so bile v tem obdobju v mestnih predelih zgrajene velike soseske večstanovanjskih objektov, ki predstavljajo velik delež obstoječega stanovanjskega fonda. Za Slovenijo predstavljamo splošne podatke o obstoječem stanovanjskem fondu v preglednici 1.1. Danes so te stavbe in predvsem njihovi ovoji pogosto v dotrajanem stanju in ne izpolnjujejo zahtev današnjih standardov, kar se kaže pogosto tudi v konstantnem izseljevanju stanovalcev iz obravnavanih sosesk.

Filozofija načrtovanja prostora, ki je v skladu z načeli trajnostnega razvoja, nam narekuje, da damo prednost obnovi obstoječih zgradb in ne novogradnji, ki jo spremlja porušitev starih stanovanjskih objektov. Raziskave, ki so bile narejene v številnih evropskih državah so pokazale, da se približno 80% vseh poškodb zgradb beleži prav v ovojih urbanih objektov (t.j. strehe, zidovi, temelji). In ker je delež stroškov vzdrževanja teh elementov največji, je potrebno posvetiti posebno pozornost prav vzdrževanju, saniranju in obnovi ovojev večstanovanjskih stavb.

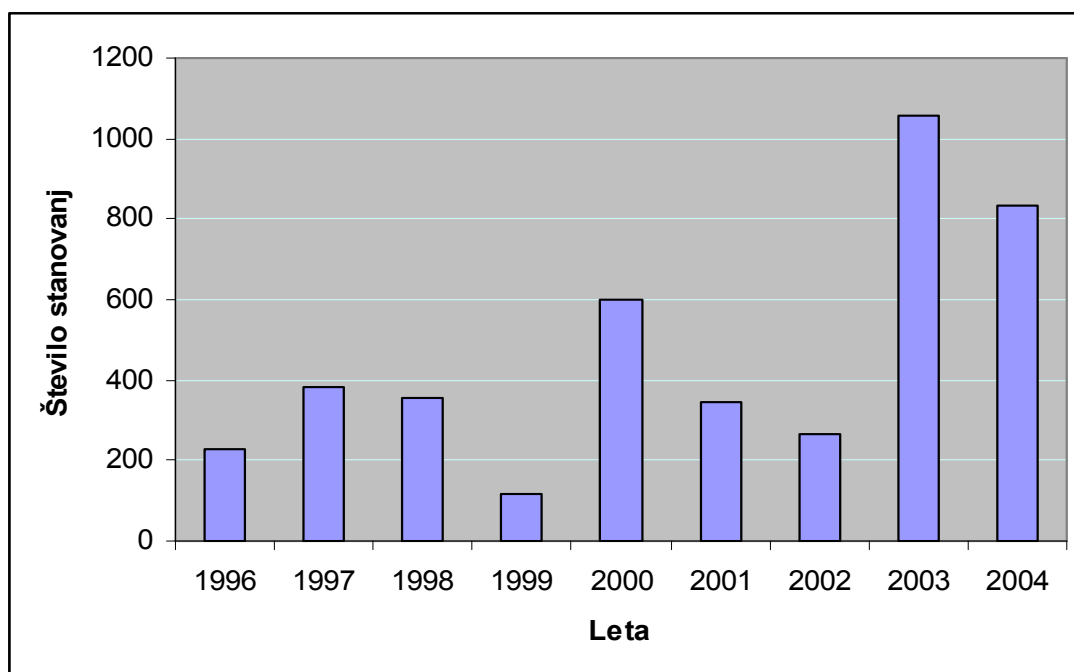
S tem problemom se soočajo v številnih Evropskih državah, zato je v ES nastala pobuda za začetek akcije COST C 16 z imenom »Improving urban building envelopes«. Z njo so raziskovalci želeli razviti pristop k izboljšavi ovojev večstanovanjskih objektov zgrajenih po drugi svetovni vojni. Ovoj zgradbe, kot je definiran v projektu COST C 16, je bistven del objekta, ki prevzame funkcijo prenosa zunanje obtežbe, toplotne in akustične izolacije in zunanjega videza (Žarnić in Šelih, 2004).

Preglednica 1.1: Splošni statistični podatki o slovenskem stanovanjskem fondu (Žarnić, Šelih, 2004)

Število prebivalcev Slovenije	1.964.036
Velikost Slovenije (km ²)	20.273
Število stanovanjskih objektov	463.029
Število stanovanj	777.772
Odstotek prebivalcev v mestih (%)	50.5
Število stanovanjskih objektov	463.029
Število stanovanj	777.772
Celotna tlorisna površina vseh stanovanj (m ²)	58.031.187
Povprečno število oseb v gospodinjstvih	2.8
Odstotek stanovanj v mestnih predelih	51.6
Zasedenost stanovanj v mestnih predelih (%)	89.5
Zasedenost stanovanj na podeželju (%)	81.2

Stanovanja, ki so bila zgrajena v povojnem obdobju, so bila v začetku njihove uporabe pretežno v državni lasti. Do leta 1991, ko je Slovenija pridobila samostojnost, se je število privatnih stanovanj povečalo; leta 1991 so v Sloveniji naredili raziskavo, s katero so ugotovili, da je bilo vseh stanovanj v privatni lasti 70,2%, medtem ko je bil delež privatnih stanovanj v večstanovanjskih stavbah 10,9%.

Z osamosvojitvijo Slovenije je prišlo do privatizacije večjega dela takrat obstoječega stanovanjskega fonda. Državljeni so pridobili pravico odkupa lastnega stanovanja za vrednost, ki je znašala približno 10% dejanske tržne cene. Danes je v privatni lasti 87 % stanovanjskega fonda, kar vključuje stanovanja, ki so bila zgrajena med 1946 in 1980. Statistični podatki kažejo, da je v Sloveniji približno 18% stanovanj v mestih zgrajenih pred letom 1945, 61% med 1945 in 1980, 21% pa po letu 1980. Povsem jasno je, da postaja obnova obstoječega stanovanjskega fonda vse bolj pomembna, kar se kaže tudi v naraščajočem številu obnovljenih stavb. Ta trend prikazuje slika 1.1.



Slika 1.1: Spreminjanje števila obnovljenih stanovanj v Sloveniji s časom (SURS, 1998-2004)

Novi stanovanjski zakon iz leta 2003 (Stanovanjski zakon/SZ-1/,Ur.l.RS, št 69/2003), je postavil pravne osnove za bolj učinkovito upravljanje s stanovanjskim fondom. V zakonu je določeno, da vsak lastnik lahko obnavlja svoje stanovanje, pri tem pa ne sme negativno vplivati na sosednja stanovanja in na videz celotne stavbe. S tem je omejen individualni poseg v ovoj zgradbe. Nova zakonodaja je tudi podala zahtevo, da morajo stanovalci skupnega bloka ustvariti namenski fond, v katerem se zbirajo sredstva namenjena vzdrževanju in posegom v okviru celotne stavbe. Zato lahko pričakujemo, da se bo z uveljavljeno novo zakonodajo na stanovanjskem področju trend povečevanja obnovitvenih del na stanovanjskih objektih še okrepil, na stavbah pa bo tako prišlo do izboljšav ovojev, preprečitev njihovega kasnejšega propadanja in boljše toplotne izolativnosti (Žarnić, Šelih, 2004).

Mednarodni standard ISO 15686-1, Načrtovanje življenjske dobe stavb, podaja za ekonomsko razvite države podatek, da se približno 50% sredstev za gradnjo porabi za vzdrževanje samih objektov in da lahko letni strošek vzdrževanja lahko doseže tudi do 3% začetne investicije gradbenega objekta. Številne vlade (vključno z Veliko Britanijo in Združenimi Državami

Amerike) so si zadale cilj zmanjšati visoke stroške vzdrževanja tako, da na eni strani z različnimi ukrepi zvišujejo trajnost in fleksibilnost, na drugi pa poskušajo zniževati tekoče stroške, ki vključujejo tudi stroške za ogrevanje, hlajenje in ventilacijo.

V Veliki Britaniji je okoli 50% gradbenih del usmerjenih v obnavljanje in vzdrževanje objektov. V zadnjih desetih letih se je poraba za vzdrževalna gradbena dela povečala za 66% in danes znaša 5% BND. Razpoložljivi podatki kažejo, da se v ZDA porabi za gradbena dela 13% BND, od tega okrog 40% za vzdrževanje in obnovo stavb (ISO 15686-1, 2000).

Za avgust 2005 je Statistični Urad Republike Slovenije izdal statistične podatke o deležih vrednosti opravljenih gradbenih del po vrsti gradbene aktivnosti, ki so prikazani v preglednici 1.2. Podatki razkrivajo, da je odstotek rekonstrukcijskih in vzdrževalnih del za avgust 2005 v Sloveniji približno 20%, kar je približno dvakrat manj kot v prejšnjem odstavku navedene številke za razvito Evropo. Od tega je bila polovica gradbenih posegov izvedena na stavbah, kar pomeni, da se v Sloveniji porabi občutno premalo finančnih sredstev za vzdrževanje in prenovo obstoječih gradbenih objektov. Posledice tega je nepotrebno povečanje investicijskih zamenjav prezgodaj dotrajanih elementov, obenem pa tudi prehitro fizično staranje gradbenih objektov in nepotrebne sanacije (SURS, 2005).

Preglednica 1.2: Deleži vrednosti opravljenih gradbenih del po vrsti gradbene aktivnosti Slovenije – avgust 2005 (SURS, 2005)

Stavbe (%)	55,8
Gradnja novih objektov (%)	43,2
Rekonstrukcije objektov (%)	9,1
Investicijska vzdrževalna dela (%)	2,8
Redna vzdrževalna dela (%)	0,8
Gradbeni inženirski objekti (%)	44,2
Gradnja novih objektov (%)	31,7
Rekonstrukcije objektov (%)	3,1
Investicijska vzdrževalna dela (%)	3,4
Redna vzdrževalna dela (%)	6,1

Obnova gradbenega objekta (»refurbishment«), kot jo definira ISO 15686-1 (ISO, 2000), je modifikacija in izboljšava obstoječega objekta ali njegovih delov, da se ga povrne v sprejemljive razmere.

Zgornjo definicijo smo primerjali z definicijo Rodoška (1998), ki je obnovo ali sanacijo objekta definiral kot popraviljanje objektov ali njegovih delov, ki so bili pomembnejše poškodovani oziroma odpravljanje resnih motenj pri funkcioniranju objekta. Te motnje ali poškodbe nastanejo bolj ali manj nenadoma zaradi naravnih nesreč (potresa, poplave, plaz, nevihte) ali tudi ker jih je povzročil človek (vojna škoda, eksplozija, požar, pomanjkljiva gradnja oziroma vzdrževanje). V okviru skupnega pojma prenove nastopa mnogo stopenj njenega značaja, intenzivnosti in obsega, vse od naj enostavnejših posegov, preko cele palete vmesnih stopenj, pa vse do nadvse temeljitih posegov, ki vsebujejo že obsežna delna rušenja (takoimenovana »totalna« ali kompletna prenova).

1.1.1 Filozofija trajnostnega razvoja in trajnostne gradnje

Trajnostni razvoj je bil prvič definiran leta 1987 (Our common future, 1987) kot »razvoj, ki zadovoljuje potrebe sedanje generacije, ne da bi pri tem ogrožal zadovoljevanje potreb bodočih generacij«. Pojem trajnostnega razvoja obsega tri vidike: okoljskega, ekonomskega in družbenega.

Gradbeni sektor, kot ustvarjalec grajenega okolja ima pri zagotavljanju trajnostnega razvoja pomembno vlogo. CIB (Conseil International des Bâtiments), ena vodilnih mednarodnih organizacij za R&R sodelovanje na področju gradbeništva in grajenega okolja, je že zgodaj prepoznala pomembnost okoljskih vprašanj, kar je imelo za posledico vrsto aktivnosti.

Leta 1995 se je CIB odločil, da bo trajnostna gradnja (»sustainable construction«) postala osrednja tema triletnega obdobja, ki se je končalo s Svetovnim gradbenim kongresom na Švedskem leta 1998. Glavna tema kongresa je bila »gradnja in okolje«. Na osnovi zaključkov tega kongresa je izšel dokument z naslovom »Agenda 21 on sustainable construction« (1999).

Pojem trajnostnega razvoja v gradbeništvu oz. trajnostne gradnje ima v različnih državah različen pomen. Razlike nastopijo zlasti med državami z razvito ekonomijo, državami s tranzicijsko ekonomijo in državami v razvoju, saj se razvite države posvečajo predvsem temu, da izboljšajo trajnostni vidik obstoječega nepremičninskega fonda z obnavljanjem, novim razvojem in uporabo novih tehnologij, medtem ko se države v razvoju posvečajo prvenstveno zagotavljanju družbene enakosti in ekonomskemu vidiku trajnostnega razvoja, kar se manifestira kot razvoj gradbenih tehnologij za izgradnjo cenovno sprejemljivega stanovanjskega fonda in potrebne infrastrukture.

S časom oz. z razvojem v zadnjih dveh desetletjih se je razumevanje trajnostnega razvoja v gradbeništvu spremenilo. Ob nastanku tega pojma je bil poudarek na racionalni izrabi omejenih naravnih virov, zlasti energije ter na tem, kako zmanjšati vpliv gradnje in grajenega okolja na naravno okolje. Pred desetletjem so bila tako v ospredju tehnična vprašanja v gradnji, kot naprimer izbira materialov, gradbenih komponent, tehnologij gradnje in načini projektiranja, ki vodijo k energetske učinkovitosti objekta.

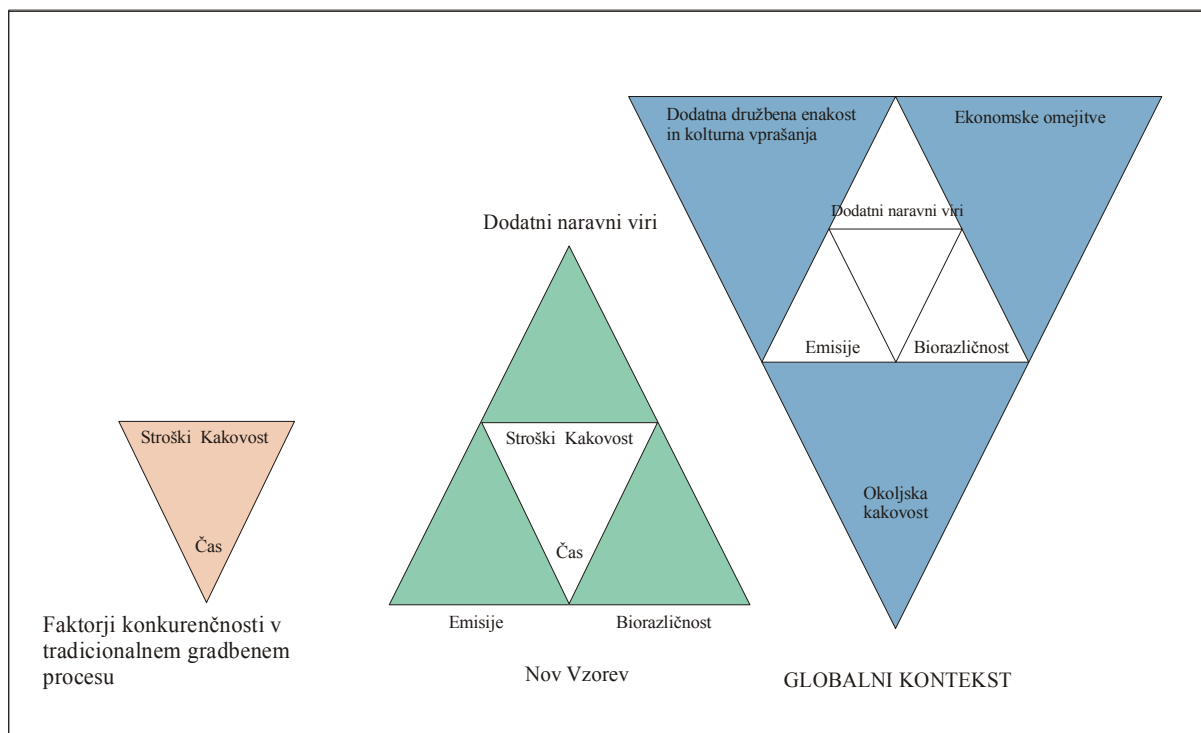
Nasprotno pa se dandanes vse več pozornosti posveča netehničnim, »mehkim« vidikom, saj smo prišli do spoznanja, da so le-ti v zagotavljanju trajnostnega razvoja v gradbeništvu vsaj enako, če ne bolj odločilni kot tehnični vidiki. Ekonomska in družbena komponenta trajnostnega razvoja dobivata tako enako pomembnost kot tehnična.

V današnjem času se tako vse bolj poudarja, da so si na področju gradbeništva oz. trajnostne gradnje vsi trije elementi trajnostnega razvoja, okoljski, ekonomski in družbeni, enakovredni. Vse več pozornosti pa se v zadnjih letih posveča tudi vprašanju skrbi za kulturno dediščino, ki tako postaja eden od pomembnejših vidikov trajnostne gradnje (Agenda 21, 1999).

K glavnim izzivom, ki jih podrobno obravnava tudi Agenda 21 (Agenda, 1999), tako v današnjem času prištevamo:

- **Management in organizacija** kot ključni vidik trajnostne gradnje, kjer pod tem pojmom ne razumemo le tehničnih vprašanj, temveč tudi družbene, pravne, ekonomske in politične zadeve. V procesu gradnje se srečuje veliko število udeležencev, ki imajo pogosto konfliktne interese. Področja, ki jih je potrebno

obravnavati znotraj tega vidika, so okoljska kakovost gradnje, re-inženiring procesa graditve, izkoriščanje človeških virov, optimizacija procesov odločanja, zahteve naročnikov, izobraževanje, osveščenost javnosti in standardi ter zakonodaja.



Slika 1.2: Nov pristop v globalnem kontekstu gradnje (Agenda 21, 1999)

- **Vidik gradbenega proizvoda in objekta** se posveča predvsem vprašanju, kako optimizirati lastnosti gradbenega objekta in proizvodov tako, da se izboljša njihovo obnašanje v smislu trajnostnega razvoja. Z raziskavami trajnostnih kazalcev bodo metode za ocenjevanje okoljskega obnašanja vodile k boljši oceni zaključenih gradbenih del. Na področju proizvodnje gradbenih izdelkov so pomembna vprašanja vgrajena količina neobnovljivih materialnih in energetskih virov, znižane emisije, ki nastajajo med proizvodnjo in uporabo teh izdelkov in izboljšanje sposobnosti za popravila in recikliranje. Na drugi strani pa je potrebno tudi izboljšati kakovost notranjega okolja (Indoor Environment Quality), s čimer dosežemo zdrave in produktivne bivalne pogoje znotraj stavb.

- **Izrabo naravnih virov**, ki je za gradbeni sektor izjemno pomemben vidik. Ukrepi za varčevanje z energijo, obsežni programi obnove in potrebe po transportu so sestavni deli skupka izzivov, vezanih na porabo energije. Zmanjšanje uporabe mineralnih virov in ohranjanje funkcije okolja, ki zagotavlja življenje, zahtevata uporabo obnovljivih in recikliranih materialov, skrbno izbiro materialov in napovedovanje življenjske dobe. Z izrabo virov so povezani tudi izbira lokacije in uporaba zemljišča, življenjska doba novih objektov in izraba zemlje za proizvodnjo gradbenih materialov.

- **Vpliv gradnje na trajnosten urban razvoj**, ki mu moramo posvetiti izjemno veliko pozornost, saj moramo ustvarjati grajeno okolje, ki bo zadovoljevalo tudi potrebe bodočih generacij. Grajeno okolje tvori eno glavnih podpor gospodarskemu razvoju in družbenemu blagostanju. Infrastruktura, stavbe in industrijski objekti so glavni resursi, ki jih uporabljajo narodi, lokalne skupnosti in gospodarstvo. Glavni vidiki na tem področju se navezujejo na kakovost okolja, življenja in bivališč, rast urbanih okolij in upravljanje z odpadki pa sta transverzalna vidika, ki se pojavljata na vseh prvih treh naštetih področjih.

- **Družbeni, kulturni in ekonomski vidiki** so zadnje področje, ki ga izpostavlja Agenda 21. Pri tem dokument poudarja, da gradbena industrija bistveno prispeva k družbeno-ekonomskemu razvoju vsake dežele. V tem kontekstu lahko trajnostna gradnja pomeni prispevek k odpravi revščine, ustvarjanju zdravega in varnega delovnega okolja, enakomerni porazdelitvi družbenih stroškov in koristi gradnje, prispevek k ustvarjanju priložnosti za zaposlitev, pridobitvi finančnih koristi in splošnemu napredku skupnosti (Agenda 21, 1999).

1.2 Namen naloge

V Sloveniji je 61% stanovanjskih zgradb iz obdobja med leti 1946 in 1980. Večina finančnih sredstev v gradbeništvo se je po tem obdobju porabila za novogradnjo, občutno manj pa za kakovostno vzdrževanje in prenovo obstoječih večstanovanjskih objektov. Danes se to kaže v sorazmerno nezadovoljivem stanovanjskem fondu zgrajenih objektov v Sloveniji, pa tudi

stopnja njihovega vzdrževanja je v primerjavi z razpoložljivimi podatki za Evropo nizka. Da bi izboljšali odnos do obstoječega stanovanjskega fonda in s tem preprečili njegovo nadaljnje propadanje, se je potrebno lotiti sistematičnega postopnega obnavljanja večstanovanjskih zgradb.

Problemi, vezani na obnovo obstoječega stanovanjskega fonda, so torej izjemno pereči. Če jih želimo učinkovito reševati, moramo k njim pristopiti na sistemski način. Ob tem se moramo zavedati, da so razpoložljiva finančna sredstva omejena, ter da je z njimi potrebno ravnati kar se da racionalno.

Namen naloge je zato izdelati racionalno orodje, s katerim lahko izboljšamo ekonomske, trajnostne in funkcionalne vidike obnove obstoječih stanovanjskih objektov ter preveriti njegovo uporabnost na primeru. Pri obnavljanju objekta se moramo odločati med širokim naborom možnih sanacijskih ukrepov, njihova izbira pa je pogojena s številnimi drugimi omejitvami. S predstavljenim orodjem je možno izbrati kar najbolj učinkovit nabor obnovitvenih ukrepov iz dane množice ukrepov, glede na vnaprej izbrane kriterije. Pri tem temelji orodje na optimizaciji večkriterijske metode odločanja (»multi-criteria decision-method« – MCDM) s pomočjo metode nahrbtnika.

1.3 Pregled vsebine naloge

V uvodnem delu smo predstavili problematiko propadanja stanovanjskega fonda iz obdobja med leti 1946 do 1980 v Sloveniji in Evropi. Prikazali smo pomembnost trajnostnega razvoja in trajnostne gradnje. Drugo poglavje podaja osnove in pravila načrtovanja življenjske dobe gradbenih objektov, kot jih podaja standard ISO 15686-1. Sledi poglavje o teoretičnih osnovah izbire med različnimi ukrepi in predstavitev večkriterijske metode odločanja. Podrobno smo opisali teoretično ozadje metode nahrbtnika (»knapsack problem«), ki smo jo uporabili za optimizacijo izbire. V četrtem poglavju smo delovanje metode nahrbtnika prikazali na primeru obnove večstanovanjske stavbe. Nadalje predstavlja to poglavje analizo primerov izbire ukrepov pri različnih variantah ponderiranja in finančnih omejitvah. Nato smo

za izbrane ukrepe analiziranega (izhodiščnega) primera izvedli analizo občutljivosti glede na posamezne kriterije. Diplomsko delo zaključuje poglavje z zaključki.

2. OSNOVE NAČRTOVANJA ŽIVLJENJSKE DOBE GRADBENIH OBJEKTOV

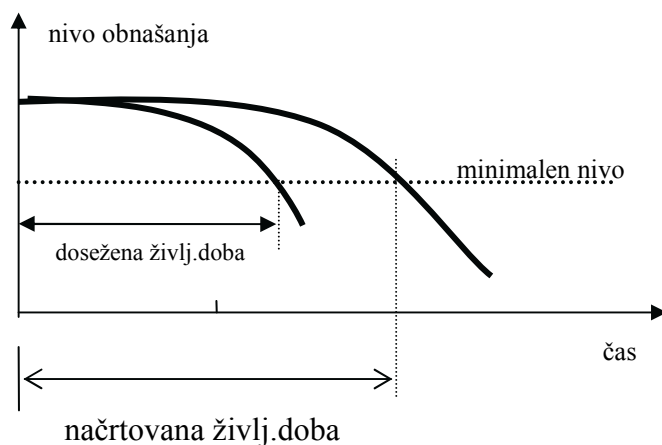
Pri obnovi stanovanjskih stavb, pa tudi drugih gradbenih objektov, moramo uporabljati racionalne pristope. V idealnem primeru se že v projektiranju novogradnje upošteva tudi načrtovanje življenjske dobe in vzdrževanja objekta, pri čemer lahko kot izhodišče uporabimo standard ISO 15686-1 (2000). V takšnem primeru sledi vzdrževanje in obnova planom, ki so bili izdelani pred začetkom gradnje objekta.

V primeru obstoječih objektov, ki so bili grajeni v drugi polovici prejšnjega stoletja, takšno načrtovanje življenjske dobe seveda ni bilo izvedeno. Kljub temu lahko enake principe uporabimo tudi pri načrtovanju obnove gradbenih objektov. V nadaljevanju bomo zato predstavili osnove načrtovanja življenjske dobe objekta v skladu z standardom ISO 15686-1 (2000).

2.1 Življenjska doba gradbenega objekta

Običajno definiramo življenjsko dobo gradbenega objekta kot časovno obdobje, med katerim izkazuje konstrukcija zadosten nivo obnašanja (»performansa«), ki je določen z primerno uporabnostjo, varnostjo in izgledom (Durable concrete structures, 1992), (Šelih, 1996). Takšna definicija se sklada tudi z definicijo Evropske direktive za gradbene proizvode (Construction product directive, 1988) in Zakona o gradbenih proizvodih, ki smatrata za življenjsko dobo časovno obdobje, v katerem morajo biti izpolnjene bistvene zahteve (»essential requirements«). Na sliki 2.1 je prikazano spreminjanje nivoja obnašanja oz. performansa s časom med življenjsko dobo gradbenega objekta. Če pride do zmanjšanja nivoja obnašanja pred iztekom načrtovane življenjske dobe, je potrebna obnova, s katero vrnemo nivo obnašanja objekt na zadovoljivo raven.

Načrtovanje življenjske dobe je proces, ki poskuša kar najučinkoviteje zagotoviti, da bo življenjska doba objekta vsaj enaka projektirani, z upoštevanjem (in če se le da optimiziranjem) stroškov življenjskega cikla (SŽC, »life cycle costs« oz. LCC).



Slika 2.1: Življenjska doba gradbenega objekta (Šelih, 1996)

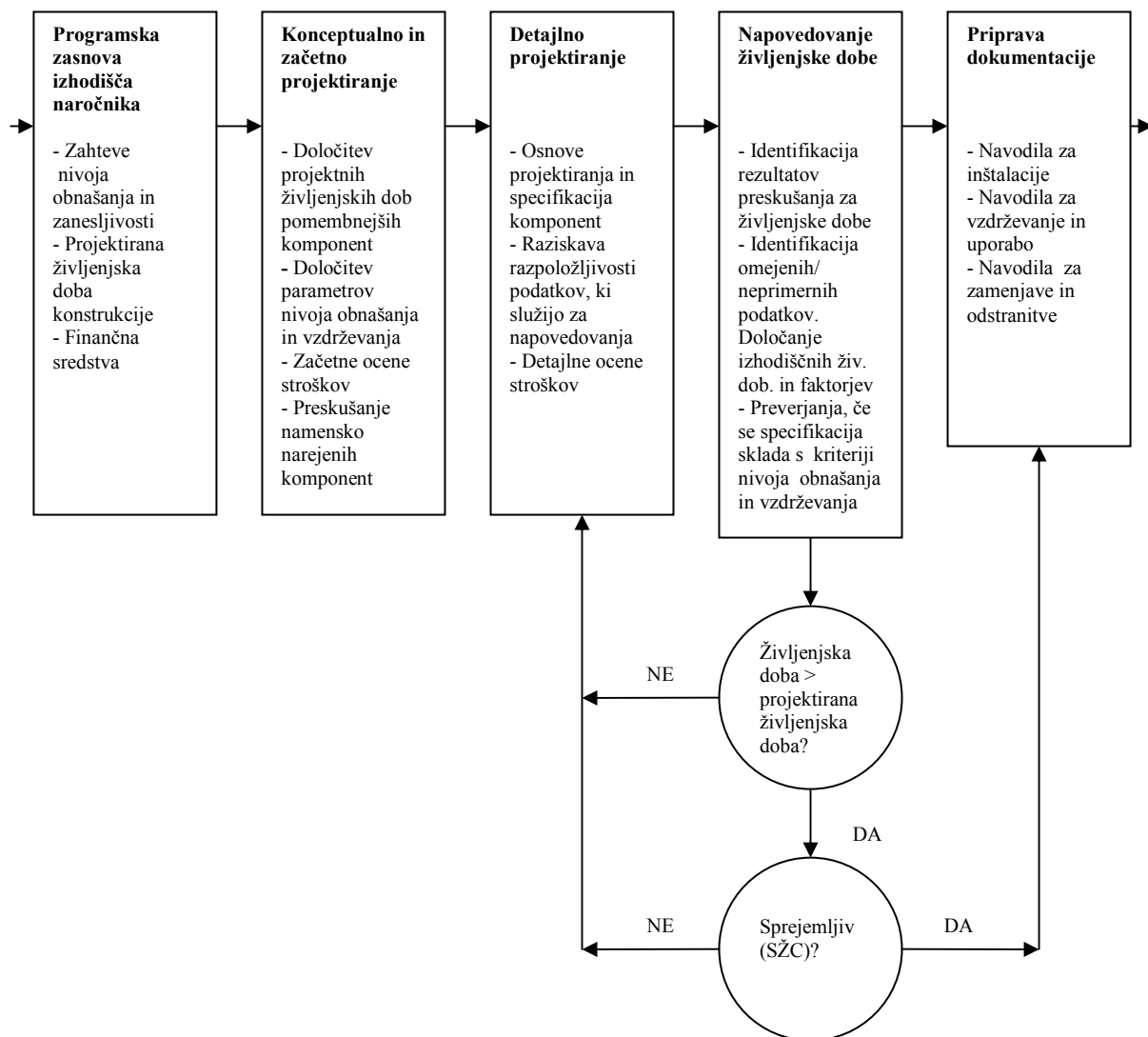
Standard ISO 15686-1 podaja metodologijo napovedovanja življenjske dobe in hkratnega ocenjevanja potrebnega vzdrževanja in zamenjave komponent v bližnji prihodnosti. V nadaljevanju tega poglavja povzamemo bistvene elemente navedenega standarda, ki so tudi nazorno prikazani na sliki 2.2.

2.2 Načrtovanje življenjske dobe v posameznih fazah projektiranja

V fazi programskih zasnov naročnik in projektant zastavita temeljne cilje načrtovanja življenjske dobe, ki vključujejo:

- načrtovano življenjsko dobo in funkcionalne pogoje obnašanja komponent konstrukcije v tem obdobju,
- kriterije merjenja funkcionalnih pogojev obnašanja in najnižji nivo sprejemljivosti funkcionalnega obnašanja, pod katerim sledi zamenjava komponent,
- konstrukcijske komponente in sklopi komponent, ki bodo v načrtovani življenjski dobi stavbe deležni obnove/vzdrževanja/zamenjave.

Pri tem razumemo pod izrazom »komponenta« proizvod, izdelan kot samostojna enota, ki služi eni ali večim specifičnim funkcijam in ga vgradimo v gradbeni objekt. V tej fazi mora naročnik jasno definirati zahteve, ki jim naj gradbeni objekt zadosti.



Slika 2.2: Proces napovedovanja življenjske dobe, vgrajen v fazo projektiranja (ISO 15686-1, 2000)

V začetni fazi projektiranja je priporočljivo, da strokovnjaki preverijo:

- če je možno doseči načrtovano življenjsko dobo znotraj projektnih omejitev (npr. razpoložljiva finančna sredstva, čas, funkcionalnost, zahteve vzdrževanja in posebnosti mesta gradnje),
- če se projekt sklada z zahtevami funkcionalnega obnašanja, ki jih je v programski osnovi izhodišča definirala naročnik (npr. za nezamenljive komponente),
- če bo možna uporaba objekta v času zamenjave, vzdrževanja in/ali nadgradnje; veliko pravilnikov na lokalni ravni zahteva, da nedostopne komponente dosežejo vsaj projektirano življenjsko dobo objekta.

Detajlno projektiranje vključuje natančno izbiro materialov in komponent, katerih izbira je toliko bolj pomembna, ker se delovanje komponent s časom 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.

2.3 Specifikacije

Materiali in komponente različno lahko reagirajo na agresivne vplive iz okolja, ki povzročajo propadanje. Rezultati preskušanj, ki jih predložijo proizvajalci materialov in komponent, so lahko v pomoč projektantu, ko preverja primernost njihove uporabe. Že samo projektiranje komponent lahko bistveno vpliva na odpornost proti propadanju (npr. s tem, da se predvidi vgraditev zaščitnih plasti) ali pa jo poslabša (npr. če se dopusti stik med nekompatibilnimi materiali).

V splošnem posedujejo proizvajalci materialov oz. komponent precejšnje znanje o obnašanju svojih proizvodov. Če pa nimajo natančnih podatkov o okolju, ki mu bo proizvod izpostavljen, ne morejo podati ustreznih podatkov o obnašanju. Najoptimalneje bi bilo, če bi

proizvajalec materialov in komponent dobil točne podatke o zahtevanem nivoju obnašanja in o dejavnih propadanja, ki so značilni za okolje, ki mu je projektirani objekt izpostavljen. Dobljeni rezultati preskušanj bi bili tedaj primerni za napovedovanje življenjske dobe.

Projektanti bi radi dosegli pravilno uravnoteženost uporabe tradicionalnih materialov in komponent, katerih funkcionalnost obnašanja je znana iz izvedenih preskušanj in/ali izkušenj, in novih, ki pa lahko dosežejo boljše funkcionalno obnašanje, kjer pa je znanih premalo podatkov o njihovih življenjskih dobah.

Če lokalne razmere, pogoji okolja pri gradnji, materiali, spretnost in nivo strokovnosti ne dosegajo priporočil izdelovalca ali strokovnih standardov, je potrebno upoštevati vpliv vsega navedenega na življenjsko dobo. V primeru, da je vnaprej znano, da pogoji vgradnje materialov in komponent ne bodo optimalni, je primerneje uporabiti konvencionalne komponente, s katerimi imamo dolgoročne izkušnje, in ki niso občutljive na spremembe pri načinu vgradnje.

2.4 Karakterizacija okolja

Okolje v in okoli objekta je unikatno, zato je za vsak primer posebej priporočljivo karakterizirati okolje, to je identificirati negativne vplive okolja ter njihove verjetne vplive na objekt in njegove komponente. ISO 15686-1 (2000) deli vplive okolja na mehanske, elektromagnetske, toplotne, kemične in biološke.

Pri obravnavanju različnih vplivov okolja se je potrebno zavedati, da povprečna intenzivnost/koncentracija agresivnih snovi in pogostost cikličnega spreminjanja med stanji (npr. ciklično spreminjanje iz mokrega v suho stanje, skozi točke zmrzovanja, maksimalne in minimalne dnevne temperature itd.) običajno povzroča manjše propadanje, kot izpostavljenost konstrukcije konstantno ekstremnim pogojem.

2.5 Začetna ocena stroškov

Projektna dokumentacija mora odražati finančne omejitve celotnega projekta. Za zadovoljitev zahtev investitorja je včasih potrebno spremeniti višino omejitve finančnih sredstev ali zahteve glede življenjske dobe ter upoštevati učinke vzdrževanja.

2.6 Načrt vzdrževanja

ISO 15686-1 (2000) deli vzdrževanje na

- ciklično redno vzdrževanje, »*cyclic maintenance*« (kot je naprimer občasno beljenje),
- vzdrževanje, ki je pogojeno s stanjem objekta oz. je reakcija na nastalo stanje, »*condition-based maintenance*« (npr. popravilo nezadovoljivega obnašanja) in
- velike obnove (»*major refurbishment*«) (investicijsko vzdrževanje).

Če se pri načrtovanju življenjske dobe upošteva ustrezne življenjske dobe vseh komponent s pod-komponentami, je možno izdelati načrt vzdrževanja v obliki tabele točno planiranih obdobij zamenjave komponent že v fazi projektiranja. Na ta način se racionalizira planiranje sanacijskih ukrepov in stroškov. V fazi projektiranja so točno navedene prihodnje sanacije in ciklična vzdrževanja, kar olajša delo vzdrževalcem. Ob tem pa se moramo zavedati, da vseh ukrepov vzdrževanja vseeno ni mogoče predvideti in planirati.

Vzdrževalna dela, ki jih lahko napovemo in jih je potrebno upoštevati pri planiranju, so:

- sprememba notranjega estetskega videza,
- odstranitev/sprememba razporeditve (predvsem pisarniški prostori),
- zamenjava neprepustnega sloja na strehi (verjetnost uporabe 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 poredkoma; v primeru razširitve objekta ali spremembe namembnosti) in
- delna odstranitev ali zamenjava nosilnih elementov (običajno med sanacijami ali nadgradnjo).

Pri izdelavi načrta vzdrževanja je potrebno zabeležiti predpostavke, ki smo jih upoštevali v načrtovanju življenjske dobe.

2.7 Zahteve za obnašanje in sprejemljivost

Stavbe, njihove komponente in sklope komponent je potrebno označiti kot zamenljive ali trajne. V primeru tipičnih stavb, katere imajo dolgo življenjsko dobo, bi bilo neekonomično, nemogoče ali celo nefunkcionalno, da bi imele te stavbe vse »trajne« komponente s konstantnim nivojem obnašanja, zato so primernejše zamenljive komponente s pripadajočim načrtovanim vzdrževanjem.

Življenjska doba objekta je omejena

- s propadom nezamenljivih komponent in v posebnih primerih tudi zaradi propada zamenljivih komponent,
- z ekonomsko neopravičljivo visokimi stroški vzdrževanja ali zamenjave teh komponent in
- v primeru, ko so vzdrževalni ukrepi varnostno oporečni ali pa izvajanje teh ukrepov onemogoča normalno uporabo objekta.

Vzdrževanje (vključno z zamenjavo pod-komponent) je najpomembnejša strategija, s katero se borimo proti propadanju. Upoštevanje vplivov predvidljivih mehanizmov propadanja bo načeloma zmanjšalo tudi nepredvidljive zamenjave komponent (ki imajo za vzrok neustrezno predstavo o zahtevah za objekt v prihodnosti).

V zgodnjih fazah projektiranja se točno določi minimalni nivo kritičnih lastnosti pomembnih komponent. Del planiranja življenjske dobe je tudi ocena, kdaj bo določena komponenta dosegla nivo nesprejemljivega funkcionalnega obnašanja in bo posledično zamenjana. Priporočljivo je, da naročnik določi komponente, katerih delovanje je bistvenega pomena za celotno stavbo, pri tem pa igrajo pomembno vlogo aktivnosti, ki se bodo izvajale v stavbi (npr., če se bodo v stavbi uporabljali računalniki, imajo lahko občasno visoki nivoji kondenzacije katastrofalne posledice).

Dokončen propad oz. odpoved komponent lahko ogrozi zdravje in varnost uporabnikov. Zato je pogosto koristno, da odpoved komponent klasificiramo glede na posledice odpovedi. Komponentam, katerih odpoved je kritična, se priporoča projektiranje posebno dolge življenjske dobe ali pogostejši pregledi in vzdrževalni režimi (primer uhajanja nevarnih snovi). Zahteva se predvsem primeren nivo obnašanja na področjih povezanih z zdravjem, varnostjo ali zaščito uporabnikov. Običajno ekonomsko upravičene zamenjave kažejo, da nudijo sodobne komponente boljše funkcionalno obnašanje in da je vzdrževanje ali popravilo starih pogosto zelo drago.

2.8 Napovedovanje življenjske dobe (»service life forecasting«)

Cilj napovedovanja (»forecasting«)¹ življenjske dobe objekta ali komponente je ugotoviti, če se lahko preseže zahtevano projektirano življenjsko dobo s primerno zanesljivostjo.

Napovedovanje življenjske dobe

- zmanjša nezanesljivost,
- poskuša uporabiti razpoložljive podatke znane kakovosti,
- upošteva variabilnost in
- se upošteva kot vodilo in ne kot prisila.

Natančnost in zanesljivost napovedovanja življenjske dobe sta odvisni od velikega števila zahtevanih spremenljivk in različnosti objektov, okolja, strokovnosti izvedbe in načina vzdrževanja v prihodnosti. Napovedovanje življenjske dobe trajnih komponent mora biti natančnejše kot za komponente, za katere bo predvideno vzdrževanje.

Ker je vsaka stavba, uporaba in okolje stavbe unikatno, so podatki pogosto pomanjkljivi, kar vpliva tako na točnost, kot na zanesljivost ocenjene napovedi. Vendar tudi če so podatki

¹ Napovedovanje (»forecasting«): ocenitev prihodnjih dogodkov, na bazi racionalne študije in analize razpoložljivih podatkov, kot nasprotno stališče subjektivne napovedi (nces.ed.gov/programs/projections/appendix_D.asp).

nepopolni, je možno napovedati vsaj minimalno obdobje, ko bo objekt ali komponenta delovala v mejah zastavljenih pričakovanj. Napoved velja od dneva zaključitve gradnje objekta in je podana v letih.

Na napoved življenjske dobe bistveno vplivajo:

- vplivi okolja, ki povzročajo propadanje (degradacijo),
- učinki doz in intenzivnosti variranja (spreminjanja) in
- učinki kombinacij vplivov okolja.

Kot smo že omenili v razdelku 2.4, deli ISO 15686-1 (2000) vplive okolja, ki povzročajo propadanje objekta in komponent v sledeče kategorije:

- mehanski,
- elektromagnetični,
- termični,
- kemični in
- biološki.

Določiti je potrebno vse zunanje in notranje vplive okolja, vključno s tistimi, ki bodo nastopili po začetku uporabe objekta. Nevaren vpliv okolja je tisti, ki povzroči enega od možnih mehanizmov propadanja materiala ali komponente. Ko identificiramo nevarne vplive okolja, je potrebno določiti velikost vpliva v nekem točno določenem obdobju (običajno je to eno leto) in v nekaterih primerih tudi pričakovano velikost ali odstotek maksimalnih in minimalnih vrednosti (kot npr. minimalna temperatura, pri kateri material postane krhek v hladnih pogojih). Preskušanja so pomembna le v primeru, če so bila izvedena za obravnavano okolje.

Dejavniki propadanja v realnem okolju skoraj nikoli ne delujejo posamično, ampak v kombinaciji. Tako bi bilo optimalno, da bi imeli za napovedovanje življenjske dobe na voljo rezultate preskušanj sočasnega delovanja vseh dejavnikov propadanja; teh podatkov pa v večini primerov žal ni. Zato je potrebno upoštevati samo najpomembnejše dejavnike propadanja in oceniti njihove vplive posamično in v kombinaciji, preden dopolnimo rezultate z vplivi propadanja ostalih manj pomembnih dejavnikov.

Razpoložljivost podatkov za napovedovanje življenjske dobe se od primera do primera spreminja, vendar lahko rečemo, da so relevantne sledeče vrste podatkov:

- meritve nivoja obnašanja s časom,
- primerjave,
- izkušnje (iz prakse) in
- strokovna mnenja.

Podatke se pridobi z opazovanjem in merjenjem nivoja obnašanja v dolgoročnih ali kratkoročnih preskusih, vključno z opazovanji podobnih že obstoječih objektov ali komponent. Pomembno je, da se vedno preveri, če podatki podajajo verjetno obnašanje ocenjevane zgradbe ali komponente v prihodnosti. Ne glede na izvor pridobljenih podatkov o nivoju obnašanja je eden od ciljev določiti hitrost propadanja in dolžino časovnega obdobja, v katerem bo nivo obnašanja padel pod nivo sprejemljivosti. Hitrost propadanja je odvisna od stopnje izpostavljenosti v okolju.

2.9 Napovedovanje življenjske dobe (»service life prediction«), ki temelji na oceni izpostavljenosti in nivoja obnašanja

Drugi način napovedovanja življenjske dobe (»service life prediction«)¹, ki ga podaja ISO 15686-1 (2000), je sistematičen postopek izbiranja, pridobivanja in uporabljanja podatkov o napovedovanju življenjske dobe materiala, komponente ali sklopov. Priporočljivo je, da te podatke pregleda strokovnjak.

Napovedovanje življenjske dobe (»service life prediction«) se nanaša na znane pogoje. Pod pogojem, da so pogoji znani, relevantni in popolni vsaj za najbolj pomembne vplive okolja, lahko napoved življenjske dobe, ki jo dobimo iz izpostavljenosti in ocene nivoja obnašanja uporabljamo brez modifikacij. Če so potrebne modifikacije, moramo uporabiti metodo faktorjev (»factor method«, glej razdelek 2.10) ali drugo podobno metodo.

¹ Napovedovanje (»prediction«): napovedati na bazi opazovanj, izkušenj ali znanstvenih razlogov
(www.scienceteacher.org/k12resources/lessons/lesson23/vocabulary.htm).

Proces napovedovanja je sestavljen iz šestih korakov. V prvem koraku se analizira problem, identificira se vse pomembne vplive in se pridobi vse možne informacije, kot naprimer:

- funkcionalen nivo obnašanja,
- vplive okolja,
- zahteve obnašanja objekta,
- kriterije za ocenjevanje nivoja obnašanja in
- določanje lastnosti materialov in komponent (npr. kemična sestava, relevantne fizikalne lastnosti).

Drugi korak vsebuje raziskavo delovanja mehanizmov propadanja pod določenimi pogoji in zato identifikacijo:

- dejavnikov, ki povzročajo propadanje, ki so ali mehanski, elektromagnetski, termični, kemični ali biološki dejavniki,
- možnih mehanizmov propadanja,
- merljivih učinkov propadanja in
- metod določevanja skladnosti s kriteriji.

V naslednjem koraku, predhodnem preskušanju, poskušamo preveriti ali bomo z načrtovanim preskušanjem dobili zanesljive rezultate. Zato pregledamo mehanizme in obtežbe in izpostavimo preskušance kratkotrajnim, bolj intenzivnim preskušanjem.

Sledi preskušanje odpornosti z opazovanjem in merjenjem

- dolgotrajnega propadanja v realnih pogojih uporabe in
- pospešenega preskušnja, ki je načrtovano tako, da potekajo procesi propada hitreje.

Običajno uporabljamo kombinacijo obeh metod. Dolgoročna opazovanja resničnega primera služijo kot kontrola pravilnosti rezultatov, ki smo jih dobili iz pospešenih preskusov, kjer je intenziteta vpliva okolja (oz. izpostavljenosti) mnogo večja kot v dejanskih pogojih med uporabo.

Načini pridobivanja podatkov o dolgoročnem staranju pod pogoji uporabnosti so:

- izpostavljanje točno določenim pogojem okolja,
- pregled objektov,
- opazovanje eksperimentalnih objektov in
- izpostavljanje realnim pogojem uporabe.

Kratkoročni testi izpostavljanja se izvedejo za obdobje, ki je krajše kot vnaprej določena življenjska doba. Večinoma se uporabljajo za hitro oceno ali napoved življenjske dobe novih proizvodov. Med pospešenimi preskusi so preskušanci izpostavljeni bolj intenzivnim in pogostim vplivom kot v dejanski situaciji (npr. nižje temperature, bolj pogosti cikli zmrzovanja/odtaljevanja).

Če se rezultati kratkoročnih razlikujejo od tistih, ki so pridobljeni v dolgoročnih preskusih, je potrebno ponovno kritično oceniti rezultate ter po potrebi spremeniti potek preskušanja. Končno poročilo mora izraziti pomembnost razlik med različnimi preskušanja, jasno pa mora predstaviti tudi uporabljene predpostavke in izkušnje sodelujočih strokovnjakov.

2.10 Metoda faktorjev (»factor method«)

Ta metoda se uporablja za ocenjevanje življenjske dobe posamezne komponente ali sklopov komponent v točno definiranih pogojih. Osnova metode je izhodiščna življenjska doba (običajno je to pričakovana življenjska doba tega tipa komponent v točno določenih pogojih uporabe) in modifikacijski faktorji, ki se navezujejo na specifične primere. Faktorji, ki so manjši od 1, zmanjšajo ocenjeno življenjsko dobo, faktorji večji od 1, pa jo povečajo.

Uporabljajo se sledeči faktorji:

- faktor A: kakovost komponent,
- faktor B: nivo projektiranja,
- faktor C: kvaliteta izvajanja del,
- faktor D: notranje okolje,
- faktor E: zunanje okolje,

- faktor F: pogoji uporabe in
- faktor G: nivo vzdrževanja.

Vsak od zgornjih faktorjev ali njihova kombinacija lahko vpliva na življenjsko dobo.

Formula, ki se uporablja za ocenjevanje življenjske dobe po metodi faktorjev je:

$$Y = X * (A * B * C * D * E * F * G) \quad (2.1)$$

Kjer je:

- Y ocenjena življenjska doba komponente,
- X izhodiščna življenjska doba komponente,
- A faktor kakovosti komponente,
- B faktor nivoja projektiranja,
- C faktor kvalitete izvajanja del,
- D faktor notranjega okolja,
- E faktor zunanjega okolja,
- F faktor pogojev uporabe in
- G faktor nivoja vzdrževanja.

Metoda faktorjev upošteva vse spreminjajoče se zunanje vplive, ki lahko spremenijo življenjsko dobo. Uporaba metode faktorjev združi izkušnje projektantov, raziskave-opazovanja, namene upravljalcev, garancije izdelovalcev in tudi rezultate preskušanj. Projektantski tim in lastnik stavbe skupaj določijo komponente, ki jih je potrebno oceniti zaradi kritičnosti njihove uporabe. Metoda faktorjev ne podaja garancije življenjske dobe, temveč le definira na osnovi dosegljivih podatkov empirično oceno, ki pa ni vedno natančna. Zato je potrebno upoštevati posledice morebitnega nepričakovanega propada funkcionalnega obnašanja komponente. Iz rezultatov metode so razvidne komponente, katerih uporaba je lahko brez dodatnih raziskav tvegana. V teh primerih se priporoča velika previdnost; ponovno je potrebno preveriti (in če potrebno, spremeniti) življenjsko dobo ali strogo natančno določiti vrednosti faktorjev. Metoda faktorjev se lahko uporablja tako za komponente, kot za sklope.

Osnova metode faktorjev je izhodiščna življenjska doba. Izhodiščna življenjska doba je preverjeno obdobje v letih, za katero se pričakuje, da ga bodo komponente ali sklopi dosegli v izhodiščnem primeru pod določenimi definiranimi življenjskimi pogoji.

Podatki o izhodiščnih življenjskih dobah izhajajo iz:

- podatkov izdelovalcev ali rezultatov preskušanj,
- predhodnih izkušenj ali opazovanja podobnih konstrukcij ali materialov v podobnih pogojih,
- knjig, ki vsebujejo tipične življenjske dobe in
- gradbenih pravilnikov, ki podajajo tipične življenjske dobe komponent.

Za pridobitev podatkov o izhodiščni življenjski dobi je potreben izhodiščni primer, ki se naj ne bi preveč razlikoval glede življenjskih pogojev od specifičnega realnega primera. Morebitne razlike med izhodiščnim in specifičnim primerom se izničijo z uporabo modifikacijskih faktorjev. Bolj kot se faktorji nagibajo k vrednosti 1, manj se pogoji med primeroma razlikujejo. Ko izvajalec ali kdo drug poda podatek o izhodiščni življenjski dobi, morajo biti v dokumentaciji točno navedeni osnovni pogoji, iz katerih so razvidni že uporabljeni faktorji, da se kasneje ne bi ponovno upoštevali. Podobno je pomembno vedeti, ali je izhodiščna življenjska doba pesimistična (temelji na propadu prve komponente), ali optimistična (temelji na srednjem/povprečnem času propada).

Izbira vrednosti modifikacijskih faktorjev je lahko odvisna tudi od izkušenj. Vsak dejavnik propada lahko povzroči določeno spremembo življenjske dobe. Posebej je potrebno upoštevati primer, ko dva dejavnika propada posebej povzročita majhne spremembe življenjske dobe, kombinacija teh dveh dejavnikov pa je lahko kritična pri propadu komponente ali konstrukcije. Paziti je potrebno, da ne pride do dvakratnega upoštevanja negativnih dejavnikov za obravnavani primer in posledično do pretirano konservativne ocene življenjske dobe.

2.10.1 Modifikacijski faktorji

Za boljšo predstavo modifikacijskih faktorjev v nadaljevanju povzemamo opise posameznih faktorjev:

- faktor kakovosti komponente predstavlja komponento, kot je dostavljena na gradbišče; je nekakšna mera projektiranja same komponente,
- faktor nivoja projektiranja zrcali vgradnjo komponente in je odvisna od izpostavljenosti komponent zunanjim vplivom,
- faktor nivoja izvajanja del ocenjuje stopnjo izurjenosti in kontrole gradbenih del, skladanje z navodili proizvajalcev in verjetnost doseganja načrtovanega načina dela,
- faktor ocenjevanja notranjega okolja temelji na izpostavljenosti komponent dejavnikom propadanja. Pri tem je potrebno upoštevati namen uporabe objekta v kombinaciji z relevantnimi lokalnimi pogoji,
- pri faktorju zunanjega okolja se pri detajlnem projektiranju upošteva vse kritične kombinacije dejavnikov propadanja v mikro-okolju,
- za faktor pogojev uporabe stavbe je pomembna specifična uporaba prostora, kjer bo komponenta vgrajena ali sklop komponent zgrajen,
- faktor nivoja vzdrževanja – tudi če je bila napoved narejena na osnovi planiranega vzdrževanja, je potrebno v temu faktorju upoštevati tudi verjetnost, da bo planirano vzdrževanje tudi izvedeno.

2.10.2 Finančni in okoljski stroški in njihovo spreminjanje s časom

Zanesljivost metode je odvisna od izkušenj in izbire vrednosti izhodiščne življenjske dobe in vsakega posameznega modifikacijskega faktorja. S celotnim pregledom vseh rezultatov se zagotovi, da ni prišlo do nerealne ocene življenjske dobe ali stroškov življenjskega cikla.

Najpomembnejša spodbuda za načrtovanje življenjske dobe konstrukcije in komponent je planiranje stroškov posedovanja in uporabe objekta. Ocenjevanje bodočih stroškov obratovanja in vzdrževanja objekta podaja potencialnim investitorjem predčasno podatke o stroških uporabe.

Poleg finančnih stroškov je potrebno oceniti tudi okoljske stroške. Med proizvodnjo gradbenih proizvodov, ki je lahko obremenjujoča za okolje in uporabnostjo ter trajnostjo objekta, je potrebno vzpostaviti ravnovesje. Vse pogosteje bo potrebno resno preveriti možnosti ponovne uporabe ali recikliranja materialov, izbiranje manj škodljivih rešitev in ponovno uporabo objektov.

Analiza življenjskega cikla (LCA, »Life Cycle Analysis«) je splošen koncept, s katerim se identificira uporabljene in porabljene materialne vire in vplive na okolje skozi celotno življenjsko dobo proizvoda, ki je lahko tudi gradben objekt. Življenjska doba zajema proizvodnjo, uporabo in odstranitev proizvoda. Tako analiza življenjskega cikla kot stroški življenjskega cikla (SŽC) potrebujejo vizijo dogajanja po določenem obdobju in obe metodi štejeta zamenjavo določene komponente kot »strošek«. Zaželjene so seveda komponente ali materiali z manjšimi celokupnimi življenjskimi stroški in z zmanjšanimi potrebami zamenjav komponent in vzdrževanja teh komponent. Obe metodi lahko upoštevata preostalo vrednost v primeru, da material ali komponento ponovno uporabimo ali recikliramo.

Celokupni strošek življenjskega cikla (SŽC oz. LCC, »Life Cycle Costs«) je skupna cena gradbenega objekta ali njegovih delov v njegovi celotni življenjski dobi, vključno s stroški načrtovanja, projektiranja, nakupa, obratovanja, vzdrževanja in odstranitve, od česar odštejemo kakršnokoli preostalo vrednost stavbe. Primerjava bodočih stroškov poznanih alternativ olajša izbiro najbolj ekonomične rešitve projektiranja in planiranja, pa tudi kontroliranje stroškov uporabe.

Temeljne značilnosti planiranja stroškov življenjskega cikla so:

- a) Samo projekti in/ali komponente, ki bodo dosegle načrtovano življenjsko dobo in zahtevan nivo obnašanja, se lahko upoštevajo kot alternative.
- b) Prednost imajo alternative, ki dosegajo primeren nivo obnašanja in imajo obenem nižje stroške življenjske dobe.
- c) Stroški življenjskega cikla se nanašajo na celotno ocenjeno življenjsko dobo stavbe in njenih komponent ter sklopov komponent.

- d) V analize naj bodo vključeni vsi pomembni ekonomski faktorji, vključno z oportunitetnimi stroški.
- e) Začetni stroški vključujejo stroške, ki so direktno povezani z objektom, njegovimi komponentami ter sklopi in vključujejo stroške projektiranja, gradnje in vgradnje, storitev in pristojbin.
- f) Prihodnji stroški vključujejo vse stroške obratovanja, vzdrževanja, pregledovanja, zamenjave komponent in rušenja ali odstranjevanja.
- g) Stroški vzdrževanja vključujejo stroške zamenjave komponent, popravila, obnove, odstranitve in prerazporeditve. Priporoča se tudi planiranje cikličnega vzdrževanja in vsakodnevnega vzdrževanja.
- h) Stroški morajo biti časovno opredeljeni.
- i) Alternativne specifikacije se lahko ocenjuje z metodo vrednostne analize.

2.11 Zastarelost, fleksibilnost in ponovna uporaba

Ločiti je potrebno zamenjavo zaradi nefunkcionalnega delovanja od zamenjave zaradi zastarelosti stavbe ali komponent. Zastarelost je nesposobnost zadovoljevanja spreminjajočih se zahtev. Napovedovanje, kdaj bo prišlo do zastarelosti stavbe ali katere od komponent, je skoraj nemogoče, saj pogosto ni na voljo zanesljivih podatkov. Zato so pomembne izkušnje projektanta in naročnika. Zastarelost neobhodno povzroča izgube, saj pride zaradi nje do zamenjave še funkcionalnega objekta ali njegovih delov. Sekundarni cilj planiranja življenjske dobe, je tako tudi zmanjšati verjetnost zastaranja in/ali maksimizirati vrednost ponovne uporabe zastarelih stavb in komponent.

Tipi zastarelosti so lahko funkcionalni, tehnični ali ekonomski. Vzroki zamenjav so lahko tudi stalno spreminjanje modnih muh ali okusov, vendar pogosto tudi te zamenjave pogojujejo predvsem ekonomski vzroki.

Ker je postalo vzdrževanje nerazumno drago, se pogosto raje izvajajo cenene variante vzdrževanja, čemur kot posledica sledi ekonomska zastarelost. Zato se priporoča, da se načrtovanje vzdrževanja (vključno z zamenjavami komponent) vključi že v fazo projektiranja. Zastarelost se lahko omeji le z obnovo in nadgradnjo. Najučinkovitejši projekti so fleksibilni in dopuščajo spremembe zaradi zahtev v prihodnosti. Tveganje zastaranja bodo zmanjšali projekti, ki dopuščajo notranje preureditve, razširitve, spremembe življenjskih sistemov ali spreminjanje razporeditve stavbe, vendar vse v okviru sprejemljivih stroškov.

V splošnem lahko ugotovimo, da je stanovanjski gradbeni objekt zelo trajno premoženje in prvi investitor oz. lastnik ima lahko le omejene predstave o njegovi uporabi. Primerno načrtovanje življenjske dobe pripomore pri eventualni prodaji stavbe in v primeru spremembe uporabe objekta kasnejših lastnikov. Podaljšanje življenjske dobe stavbe in zmanjšanje vzdrževanja in zamenjave komponent tudi prispeva k trajnostnemu razvoju in ohranitvi naravnih virov.

2.12 Sklepne misli o življenjski dobi gradbenega objekta

Živimo v času, ko je pozornost vseh usmerjena k zaščiti naravnih virov. Kot je iz standarda ISO 15686-1 razvidno, se tudi gradbeništvo nagiba k obnovam obstoječih objektov. Primerno in sprotno vzdrževanje gradbenih objektov podaljša njihovo življenjsko dobo in zviša kakovost notranjega okolja za ljudi ter učinkuje na zdravje, udobje, dobrobit in ustvarjalnost stanovalcev.

Slovenski stanovanjski fond ima določeno zgodovinsko težo, pa tudi vrednost, zato je primerno, da se ga obnavlja in nadgrajuje skladno z novimi zahtevami. Gradnja novega objekta zahteva velik finančni vložek, saj je potrebno obstoječo stavbo porušiti, odstraniti odpadni material, projektirati in zgraditi novo konstrukcijo, pri tem pa upoštevati pravilno umestitev novega objekta v obstoječe okolje. Vse to narekuje in poudarja pomembnost obnavljanja zastarelih in nefunkcionalnih stavb.

Ko gradimo ali obnavljamo danes, se moramo zavedati dolgoročnih posledic naših odločitev. Če želimo doseči bolj racionalno uporabo grajenih objektov, moramo v projektiranje

novogradnje ali obnove gradbenih objektov vključiti tudi napovedovanje življenjske dobe. Seveda pa lahko osnovna načela napovedovanja uporabimo tudi na že obstoječem objektu, seveda pod pogojem, da imamo na razpolago dovolj podatkov o objektu in njegovih komponentah.

3. TEORETIČNE OSNOVE IZBIRE UKREPOV OBNOVE

3.1 Večkriterijske metode odločanja (MCDM)

Odločitveni procesi se pojavljajo tako v poslovnih kot v tehničnih procesih, kakor tudi v vsakodnevnem življenju posameznika. Pogosto je odločanje intuitivno, v kompleksnih primerih pa mora biti odločitveni proces racionalno utemeljen. Gre torej za kompleksen sociotehnični proces. V odločitvenem procesu je potrebno izbrati eno od večih možnosti, ki so na voljo tako, da so vnaprej znani cilji kar najbolje doseženi. Ker se odločimo na osnovi znanih informacij, ki so lahko zelo obsežne in raznolike, je dandanes proces odločanja v kompleksnih primerih praviloma vedno podprt z orodji sodobne komunikacijske informacijske tehnologije (ICT).

Problemi odločanja so:

- zapletenost, nepopolnost, negotovost, protislovnost in neusklajeno skupinsko odločanje ciljev,
- slabo ali nepopolno definirane (nepoznane) variante ali pa veliko število le-teh,
- slabo definirani, neznani, spregledani, težko merljivi parametri ali kriteriji in po vrhu še veliko število parametrov,
- omejitve virov, kar pomeni pomankljivo poznavanje problemskega področja in časovne, kadrovske ter druge omejitve,
- metodološke omejitve: »omejena racionalnost« odločevalcev, teoretični problemi in predvsem problemi merjenja kakovosti odločitve (Rajkovič, 2002).

V današnjem času predstavlja projekt optimalne stavbe pravi izziv za projektanta. Glavne odločitve sprejme projektantski tim, katerega sestavljajo projektantska skupina (v kateri so arhitekt, statik, projektant elektro-instalacij ter projektant ogrevalno-hladilno-prezračevalnega sistema (*HVAC –heat, ventilation and air condition*)), investitor in izvajalec projekta. Vsak član projektantskega tima zastopa svoja stališča, kar lahko povzroča težave pri iskanju skupnih točk sporazumevanja pri odločanju. Izziv pa je tudi projektirati objekt po smernicah trajnostnega razvoja, ki jim dandanes vse bolj sledimo. V kontekstu gradbene industrije

pomeni to graditi stavbe, ki bodo boljše zadovoljevale človeške potrebe in okoljevarstvene zahteve (Alanne, 2004).

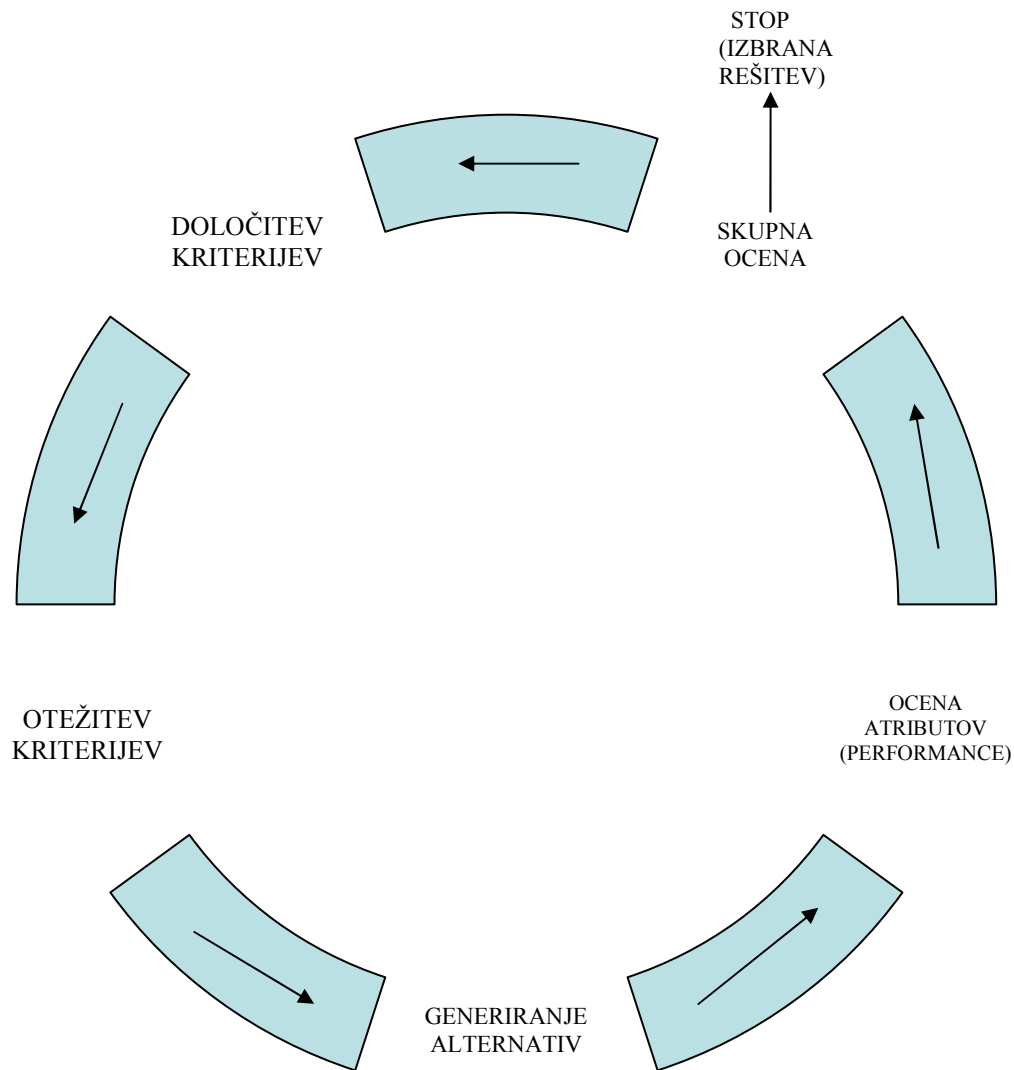
Sodobni tehnološki napredek in vse večje potrebe na področju obnove povzročajo, da se na tržišču pojavlja vse več alternativnih rešitev, ki jih lahko uporabimo pri obnovi stavb. Da jih lahko uporabimo, pa moramo dobro poznati njihove lastnosti ter medsebojno kompatibilnost.

Projektantska skupina, ki načrtuje obnovo ima tako na voljo veliko število alternativnih rešitev, ki jih mora oceniti in na podlagi te izbrati najprimernejšo. Obenem pa mora skupina, kot smo že poudarili, uskladiti mnenja posameznih članov. Kriteriji, ki jih lahko uporabimo pri vrednotenju rešitev so raznoliki in prav tako predmet odločitve oz. uskladitve projektantske skupine. Eden od kriterijev, ki jih moramo dandanes uporabiti, je gotovo trajnostni vidik, ki pa ga lahko opredelimo z večimi lastnostmi. Ena od teh lastnosti je trajnost, druga pa energetska učinkovitost stavbe.

Nadalje se je potrebno pri načrtovanju obnove zavedati, da sestoji vsaka rešitev iz niza ukrepov, ki so si lahko med seboj odvisni ali pa tudi ne.

Da lahko kar najbolje zadovolji vsem opisanim pogojem, je projektantski skupini v veliko pomoč, da ima na voljo računalniško podprto orodje za odločanje, saj lahko s tem izbere optimalno kombinacijo ukrepov obnove.

V nadaljevanju naloge bomo predstavili, kako lahko večkriterijska metoda odločanja, kjer se za optimizacijo izbire niza ukrepov uporabi model nahrbtnika (»knapsack problem«) pomaga projektantu pri izbiranju najbolj primerne niza ukrepov prenove v fazi zasnove projekta. Metoda je povzeta po prispevku, ki ga je objavil Alanne (2004). Ko govorimo o renoviranju objekta, mislimo na niz posameznih ukrepov, s katerimi bomo izboljšali trajnostni vidik, funkcionalnost in estetski videz stavbe. Proces odločanja, predvsem med fazo zasnove izgleda kot iterativni in ciklični proces (slika 3.1).



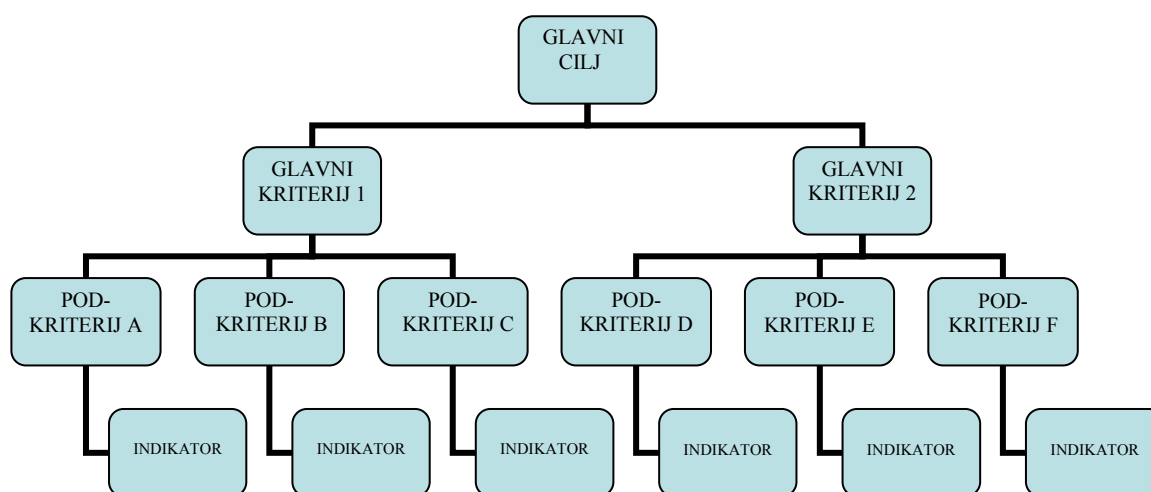
Slika 3.1: Iterativni, ciklični odločitveni proces v konceptualni fazi projektiranja (Alanne, 2004)

Običajno projektanti na podlagi izkušenj določijo dve ali več projektnih alternativ (alternativni nizi ukrepov prenove), katere nato oceni projektantski tim. Ker pa je možnost nabora obnovitvenih ukrepov izmed vseh možnih ukrepov veliko, je za racionalno izbiro nabora potrebno uporabiti metode, ki temeljijo na večkriterijskih metodah odločanja (MCDM). V nadaljevanju bomo predstavili, kako se lahko generiranje in ocenjevanje

projektnih alternativ avtomatizira z uporabo modela nahrbtnika. Gre torej za optimizacijo portfelija obnovitvenih ukrepov.

Najprej bomo razložili pomen kriterijev in koristi. Andresen je definiral kriterije kot "standardi presoje ali testiranje sprejemljivosti" (Alanne, 2004). Če definicijo poenostavimo, lahko rečemo, da kriteriji povedo, kaj pričakuje odločevalec, ko izbere določeno opcijo. Pomen izraza koristi (»utility«) pa si najlažje predstavljamo kot nasprotje stroškov in kot bomo kasneje pokazali, se korist definira na podlagi ocen ukrepov, glede na vsak kriterij.

Pri metodi večkriterijskega odločanja niz kriterijev razvrstimo v strukturni model, kjer vsaka veja tega drevesa predstavlja kriterij (slika 3.2).



Slika 3.2: Drevesno strukturiran model kriterijev (Alanne, 2004)

Glavni kriterij se nanaša na splošne, strateške cilje (npr. doseči uporabo minimalnih virov), medtem ko se podkriteriji nanašajo na bolj specifične stvari. Na najnižjem nivoju drevesa se nahajajo kriteriji, ki so določljivi na osnovi numeričnih, sicer nedvoumnih kriterijih, kot so naprimer kazalci trajnosti. Praktično so lahko podkriteriji kvantitativni, kot npr. letna poraba energije, ali pa kvalitativni, kot npr. estetski. Število kriterijev se spreminja od primera do primera. Pri projektiranju prenove objekta kriterije običajno določi projektantski tim.

Teoretično ni nobene omejitve maksimalnega števila kriterijev pri enem ocenjevanju. Da pa bi se izognili prekrivanju ocenjevanja med kriteriji, je primerno imeti do osem glavnih kriterijev in pod vsakim glavnim kriterijem do osem podkriterijev.

S ponderiranjem kriterijev poudarimo želje investitorja in zahteve primernosti bivalnih pogojev za uporabnike. Velikost ponderjev kriterijev nakazujejo teža vpliva posameznega kriterija na končno odločitev.

Obstajajo različne metode ponderiranja. Zaradi enostavnosti njene uporabe pa je najbolj primerna stopenjska metoda. Ponderji se porazdelijo s pomočjo 10-stopenjske lestvice.

Preglednica 3.1 Seznam ponderjev stopenjske metode (Alanne, 2004)

Lestvica	Relativna pomembnost primerjana z najbolj pomembnim kriterijem
10	Enako pomemben kriterij
9	
8	
7	Malo manj pomemben kriterij
6	
5	
4	Znatno manj pomemben kriterij
3	
2	
1	Nepomemben kriterij
0	

Najprej moramo določiti najpomembnejši kriterij na določenem nivoju v drevesu kriterijev, kateremu dodelimo vrednost 10. Ocene ostalih kriterijev tega nivoja dobimo tako, da jih primerjamo z najpomembnejšim kriterijem (pri ocenjevanju si pomagamo s preglednico 3.1). Ponderje nato normiramo v rang velikosti med 0 in 1 tako, da je vsota ponderjev (na določenem nivoju) ena enota. Postopek ponovimo za vsak nivo drevesa kriterijev.

Atributi zaključujejo krog povezanosti niza kriterijev, ponderjev in koristi. Atributi so karakteristike ocenjene opcije in nam povedo realno vrednost določene opcije glede na zastavljene kriterije. Paziti moramo, da ne zamenjamo atributov in kriterijev, ker je njihov

pomen povsem različen. Ko bomo kasneje govorili o atributih določene opcije, se bomo sklicevali na značilnosti te opcije, glede na najnižji nivo podkriterijev drevesa kriterijev (slika 3.2).

Pri večkriterijski metodi izrazimo korist v številčni obliki, pri čemer potrebujemo za to primerno vrednostno lestvico za primerjanje podkriterijev najnižjega nivoja drevesa kriterijev. Vsak posamezen atribut določene opcije se zrcali v številčne vrednosti, ki jo dobimo s primerjanjem opcije s posamezno zastavljenimi kriteriji. V tej nalogi smo poskušali ilustrirati pomembnost prenove s primerjanjem prenovljenega stanja stavbe z originalnim. Ocena izboljšave ali poslabšanja se giblje med 10 in -10, kot je prikazano v preglednici 3.2.

Preglednica 3.2: Povezava med definicijo koristi in prilagojenimi vrednostmi (Alanne, 2004)

Vrednosti	Definicija koristi
10	bistveno izboljšanje v primerjavi s situacijo pred obnovo
8	veliko
6	zadovoljivo.....
4	zmerno.....
2	rahlo.....
0	nobena izboljšava v primerjavi z situacijo pred obnovo ali efekt tega kriterija
-2	rahlo.....
-4	zmerno.....
-6	zadovoljivo.....
-8	veliko.....
-10	bistveno poslabšanje, v primerjavi s situacijo pred obnovo

Dosežene numerične vrednosti celotnega niza kriterijev seštejemo v singularno doseženo numerično vrednost S_i , katera pomeni totalno korist, ki jo povzroči ukrep prenove i .

Predpostavimo, da imamo m podkriterijev pod vozliščem 1 v drevesu kriterijev, j pa predstavlja tekoči podkriterij med 1 in m . Z uporabo preprostega modela dodajanja ponderjev seštejemo dosežene numerične vrednosti podvozlišč v singularno doseženo numerično vrednost vozlišča 1. Zapišemo lahko sledečo enačbo

$$S_1 = \sum_{j=1}^m w_j * s_j \tag{3.1}$$

kjer S_i predstavlja doseženo numerično vrednost v vozlišču l , m je število podkriterijev pod tem vozliščem, w_j je normirana utež (med 0 in 1) podkriterija j , in s_j je dosežena numerična vrednost, ki pripada podkriteriju j . Pred seštevanjem normiramo ponderje tako, da delimo posamezen ponder s s skupno vsoto vseh ponderjev.

Postopek se ponovi za vsako vozlišče drevesa kriterijev, začenši pri najnižjih nivojih. Proces se nadaljuje, dokler ne dosežemo ene same celotne vrednosti, ki sovpada vozlišču »glavni cilj«. Ko dobimo vse celotne dosežene numerične vrednosti S_i za vsak možen ukrep prenove (i), jih nato uporabimo v metodi nahrbtnik (Alanne, 2004).

V nadaljevanju bomo na kratko opisali še tri druge metode odločanja.

a) Linearno programiranje mešanih spremenljivk in določevanje scenarijev obnove

Za obnovo objekta izberemo niz ukrepov, ki bodo zmanjšali in če je možno tudi optimizirali stroške življenjskega cikla. Eden od načinov optimizacije je uporaba tehnike linearnega programiranja. Slabost te metode je popolna linearnost modela, zaradi česar se spremenljivke ne sme medsebojno množiti. Ker pa stroški obnove objekta običajno niso linearni, so njihove stroškovne funkcije predstavljene v korakih. Delno lahko ta problem rešimo z vključitvijo binarnih spremenljivk, to je spremenljivka, ki zavzame vrednosti 0 ali 1 (Gustafsson, 1998).

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

Začetna faza projekta prenove običajno zahteva dolg proces premišljevanja pod pogoji velike negotovosti. Organizacije, ki imajo v lasti oz. upravljanju veliko stavb in drugih objektov, lahko pri upravljanju svojega fonda izkoristijo računalniško podprt model za podporo pri odločanju. Predstavljeni model lahko razvijemo v pol-avtomatsko računalniško orodje, ki je v pomoč pri razvoju in izvajanju premišljene in gospodarne politike rehabilitiranja, saniranja, remodeliranja ali rekonstruiranja objektov, s katerimi navedene organizacije upravljajo. Metoda sestoji iz štirih modulov za podporo pri odločanju: (a) preliminarni pregled stanja in okolice objekta; (b) ocenjevanje in rangiranje fizičnega stanja objektov; (c) generiranje možnih alternativ za rehabilitacijo, sanacijo ali rekonstrukcijo; in (d) tehno-ekonomska

kvantitativna primerjava med alternativami in sistematična predstavitev predlogov (Rosenfeld, Shohet, 1999).

c) Elaboracija retrofit scenarijev

Dosledni in učinkoviti scenariji obnove običajno temeljijo na poznavanju stanja dotrajanosti oz. degradacije in zastarelosti objekta. Projektant pripravi spisek obnovitvenih del, ki jih je določil na bazi pregleda objekta, njegovih izkušenj in predvidenega finančnega fonda. Gre za sistematično metodo, ki sloni na večkriterijskih analizah in konstruktiven pristop, ki je v pomoč strokovnjaku pri projektiranju scenarija obnove. Ta metoda vsebuje veliko 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. Uporabniku takšnega računalniškega orodja pomaga, da hitro ustvari različne scenarije. Strokovnjak lahko te informacije upošteva in se tako lažje odloči za končni scenarij. Ta način združi izkušnje strokovnjaka in racionalno sistematično verifikacijo (Flourentzou, Roulet, 2002).

3.2 Metoda nahrbtnika

Preprost primer planinca je nazorna slika definicije problema nahrbtnika («knapsack« problem). Planinec se nekega lepega dne odloči, da se bo odpravil v gore. S seboj vzame nahrbtnik. Ko pa pripravlja stvari, ki bi jih rad vzela s seboj, ugotovi, da vsega vanj ne bo mogel spraviti, saj ima nahrbtnik omejeno prostornino. Zato pri tem vstopi v vlogo odločevalca in glede na kriterije, ki si jih sam poda, izbere skupek stvari za pot. Ker bi planinec rad nahrbtnik maksimalno izkoristil, mora izbrati kombinacijo stvari, pri kateri je velikost nahrbtnika čimbolj izkoriščena, kombinacija izbranih predmetov pa ima zanj (t.j. po njegovih kriterijih) največjo vrednost, torej bo najbolje možno preskrbljen. Prostornina nahrbtnika predstavlja torej omejitveni kriterij pri odločanju.

Metoda «knapsack« poda torej odgovor na vprašanje: kako izbrati optimalni nabor ukrepov (tehnološki portfelij) s pomočjo ocenjevanja množice razpoložljivih tehnoloških opcij, pri

čemer je prisotno veliko število konfliktnih interesov in konfliktnih kriterijev ocenjevanja. Optimalni nabor določimo pri uporabi metode nahrbtnika na podlagi omejitvenega kriterija, ki se nanaša na skupno ceno celotnega izbranega niza ukrepov obnove.

Običajno predlagajo projektanti le manjše število alternativnih scenarijev obnove (oz. izbire niza ukrepov obnove), ki jih kasneje v postopku končne izbire medsebojno primerjajo, ocenijo in izberejo najbolj ustreznega. Najpomembnejša lastnost metode nahrbtnika v kontekstu projekta planiranja prenove je sposobnost avtomatičnega ocenjevanja velikega števila skupinsko kompatibilnih ali nekompatibilnih ukrepov, na podlagi katerega dobimo optimalni portfelij. Čeprav je bil na področju računalniško podprtega modeliranja dosežen v zadnjih letih ogromen razvoj, matematični model za odločanje skoraj nikoli ne more nadomestiti človekovega razmišljanja; pač pa lahko s pomočjo uporabe takšnih modelov projektanti dobijo rešitve, ki bi jih običajno spregledali, še posebno v primerih velikega števila konfliktnih kriterijev in omejitev. Uporaba modela je najuspešnejša, ko imamo veliko opcij in konfliktnih omejitev.

Kot bomo kasneje prikazali v primeru, smo kombinirali večkriterijsko metodo odločanja in metodo nahrbtnika tako, da smo najprej ocenili s pomočjo večkriterijske metode odločanja vsako opcijo posamezno ter tako dobili korist, ki jo povzroči ta opcija. Ti rezultati so vhodni podatki za model nahrbtnika, s katerim maksimiziramo vsoto koristi posameznih ukrepov portfelija za podane maksimalne stroške.

Vsako večkriterijsko ocenjevanje ima v glavnem sledeče zahteve. Kriterij je lahko kvantitativne kot kvalitativne narave. Če je kriterij kvalitativen, ni preprostega in točnega načina za izračun numerične vrednosti, ki bi ta kriterij predstavljala. Da bi prikazali korist opcije s singularno numerično vrednostjo, morajo biti vsi kriteriji določljivi na primerni skupni lestvici. To vodi k zahtevi, da je definicija merske lestvice odvisna od preferenc ocenjevalca; gre torej za subjektivno izbiro. Ker vrsto različnih opcij običajno oceni sam strokovnjak ali skupina strokovnjakov, je subjektivnost tudi del samega ocenjevanja. Dosežemo lahko tudi varljive rezultate, če površno kombiniramo rezultate pregledov samega objekta, operativne izkušnje in mnenja. Da bi se izognili takšnim rezultatom, moramo uporabiti veliko kvantitativnih kriterijev in upoštevati mnenja strokovnjakov (Alanne, 2004).

Model nahrbtnika je v celoti model dodajanja. Uporabili smo preprost model dodajanja ponderjev seštevanja doseženih numeričnih vrednosti, da bi dobili eno vrednost, katera predstavlja korist določene opcije.

Uspešnost modela dodajanja je maksimalna, ko lahko karakteristike (attribute) neke opcije upoštevamo posamično, brez prekrivanja in tako lažje kombiniramo ocene vseh vozlišč drevesa kriterijev v eno vrednost, kar olajša odločevalcu primerjavo med različnimi opcijami. Problemi se pojavljajo le, če se kriteriji med seboj prekrivajo, kar prinaša napačne rezultate. Model dodajanja ima tudi sposobnost kompenzacije, kar pomeni, da se šibkost ene opcije glede na nek kriterij kompenzira z močjo le-tega glede na nek drugi kriterij. Če je to prednost ali slabost, je to odvisno od primera. V modelu je privzeto, da vsaka opcija bo prispevala nekaj koristi, to je dodatno vrednost (ali izboljšavo ali nazadovanje) v portfelij. Pred samim ocenjevanjem mora ocenjevalec biti siguren, če je dodana vrednost za v portfelij izboljšava ali nazadovanje za vsak kriterij posebej. V prihodnosti bo zato v okviru konteksta energijske učinkovitosti stavbe potrebno izvesti dodatne študije uporabnosti modela dodajanja .

Kot smo že omenili, lahko s pomočjo metode nahrbtnika avtomatiziramo generiranje in ocenjevanje alternativnih scenarijev obnove. Preprosto povedano, gre za primer optimizacije izbranega niza ukrepov. Model lahko uvrstimo tako med orodja odločanja, kot k ekspertnim sistemom.

Model lahko formuliramo z matematično enačbo, ki izhaja iz klasičnega problema nahrbtnika in mora podati odgovor na vprašanje: katere ukrepe obnove moramo izbrati, da dosežemo najboljšo možno izboljšavo konstrukcije, ki jo želimo obnoviti? Če se v kontekstu teorije koristi uporabi metoda nahrbtnika z dodajanjem, bo matematični zapis naslednji.

Predpostavimo, da imamo:

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

Objektivna funkcija bo potem

$$\text{MAX} \sum_{i=1}^n a_i * S_i \quad (3.1)$$

kjer S_i = dosežena korist pri izbiri sanacijskega ukrepa a_i .

Problem bo nastopil zaradi raznih omejitev

$$a_i \in \{0,1\}$$

$$\sum_{i=1}^n a_i * C_i \leq C_{\max} \quad (3.2)$$

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 spreminjajo od primera do primera (nujni ukrepi za konstrukcijo),
- omejitve, ki jih določijo stanovalci objekta (minimalna zahtevana kakovost) in
- druge možne omejitve (omejitve, ki jih narekujejo zakoni in predpisi).

Matematična enačba in število teh dodatnih omejitev se spreminja v odvisnosti od posameznega primera. Zaradi tega ni možno izraziti splošne matematične enačbe, ki bi vselej veljala.

3.3 Izbira kriterijev za ocenjevanje

Stavba in bivalno okolje sta presečna množica različnih skupin vplivov, od geomorfoloških in podnebnih značilnosti lokacije, do človeka, ki ga predstavljajo fiziološke in kulturne

značilnosti z gradbeno konstrukcijo in napravami, ki ustvarjajo artefakt. Arhitektonski artefakt je bil od nekdaj presek tehnologije, kreativnosti in mysticizma.

Socioekološki sistem, ki ga sestavljata tudi grajeno okolje in človek, oblikujejo pretoki informacij, energije in snovi skupaj z različnimi funkcionalnimi elementi. Toplotne in svetlobne ravni, relativna vlaga, izmenjava zraka in stiki z naravnim okoljem, kar je vse odvisno od fizioloških, psiholoških in kulturnih potreb in zahtev ljudi, so informacijski viri, ki pri funkcionalnih elementih spodbujajo ustrezne odzive. Funkcionalni elementi se združujejo v zgradbo, ki mora končno predstavljati vsestranski in celovit socioekološki sistem (Krainer, 2003).

Razvoj sodobne informacijske tehnologije in elektronike omogoča uporabo umetne inteligence in avtomatizacije. Ker pa v organizaciji bivanja ne pričakujemo korenitih sprememb in je zato zasnova bivalnega prostora dokaj konservativna (Perovič, 2006), se bodo spremembe pojavljale predvsem v strukturi ovoja in pri izboru in lastnostih materialov. Spremembe strukture ovoja, razporeditev in dimenzioniranja funkcionalnih plasti so možne z uporabo sedanje tehnologije. Pri tem upoštevamo vodilo, da za dinamične zahteve in spremembe potrebujemo tudi dinamično zgradbo oziroma njene dele.

Razvoj novih tehnologij, pri čemer je eden od ciljev energetsko učinkovito oblikovanje bivalnega in delovnega okolja, ni omejitev, ampak izziv za arhitektonsko oblikovanje. Uvajanje pasivnih tehnik v bioklimatsko arhitekturo poteka po eni strani na ravni bivalnega prostora kot celovitega sistema, s čimer rešujemo splošne probleme delovanja, načela ogrevanja in ohlajevanja, dnevne svetlobe, stratifikacije prezračevanja in fizičnih premikov (Krainer, 2003).

Na drugi strani pa obravnavamo delovanje materialov, proizvodov in sistemov s stališča posebnih zahtev. Analiza toplotnih izgub obstoječih stanovanjskih stavb kaže, da znaša relativni delež izgub, ki nastopajo zaradi prehoda toplote skozi ovoj stavb približno 2/3, delež zaradi naravnega in prisilnega prezračevanja pa 1/3. Delež prehoda toplote skozi zunanji zid tipične hiše se giblje okoli 40%, približno 20%-ne deleže pa imajo prehod toplote skozi okna in vrata, streho oziroma strop ter tla in stene v terenu. Za ogrevanje povprečne slovenske enodružinske hiše potrebujemo letno približno 175 kWh na 1 m² ogrevane stanovanjske

površine (Sousa, 2005). Če ob temu podatku predpostavimo še sodobno kurilno napravo z uporabo fosilnega goriva, lahko zaključimo, da potrebujemo za ogrevanje 1 m² tipične hiše letno približno 22 litrov ekstra lahkega kurilnega olja, kar ob ceni 100 SIT/l vodi k okvirnem letnem strošku 2200 SIT/m² površine. V primerjavo navedimo, da so lahko vrednosti pri novozgrajeni ali sanirani stavbi s sodobno toplotno zaščito le polovične! To pa je obenem tudi dejstvo, ki kaže na pomen načrtovanja ustrezne toplotne zaščite ovoja stavb. Ker lahko znaša življenjska doba objektov ob korektnem projektiranju in izvedbi tudi do 50 let, so dolgoročni vidiki teh gradbenih posegov ter posledičnih stroškov za lastnika stavbe več kot očitni (Praznik, 2001).

Varčevanje z energijo v Sloveniji še ni množično, ljudem še ni prišlo v zavest kot nujna vsakodnevna potreba. Energija je namreč še zelo poceni. Zanimivo pa je, da je v bolj bogatih in razvitih državah osveščenost ljudi neprimerno večja in je varčevanje z energijo bolj prisotno, kljub temu, da imajo boljši standard in višje dohodke kot pri nas. V teh državah imajo že tehnične predpise naravnane za varčevanje z energijo (toplotna izolacija zgradb, energetska varčna okna, itd.), strožji pa so tudi kriteriji in izvajanje predpisov pri onesnaževanju okolja. Ker zaloge neobnovljivih virov energije v svetu počasi kopnijo, je v prihodnje nujno pričakovati postopno naraščanje cen energije. Tedaj bo konec razsipniškega obnašanja. Človeštvo namreč še nima prave, cenene in uporabne rešitve oskrbe z energijo za bodoče generacije. Sedaj je edina rešitev zmanjšanje porabe energije na vseh področjih, v gospodinjstvih in industriji. Pri zmanjševanju porabe pa moramo stremeti za tem, da z znižanjem porabe energije dodatno ne onesnažujemo okolja. Zato moramo v čim večji meri uporabljati ekološke materiale, kjer s to oznako označujemo materiale, ki se odlikujejo po tem, da v svojem življenjskem ciklusu, od proizvodnje do uporabe in odstranitve, v čim manjši meri obremenjujejo okolje. Pri toplotno izolacijskih materialih se je z uporabniškega vidika v praksi uveljavila delitev na tradicionalne materiale in ekološke ali alternativne materiale. Takšni delitvi lahko deloma oporekamo. Vzrok je v temu, da moramo pri izbiri katerega koli izolacijskega materiala, upoštevati njegove dobre lastnosti, istočasno pa moramo vzeti v zakup tudi njegove slabosti (Praznik, 2001).

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.

Iz navedene razprave lahko torej zaključimo, da so pri gradnji, pa tudi pri obnovi obstoječih gradbenih objektov, najpomembnejši socialni, funkcionalni (ki vključujejo vidike uporabnosti in varnosti), okoljevarstveni in estetski vidiki.

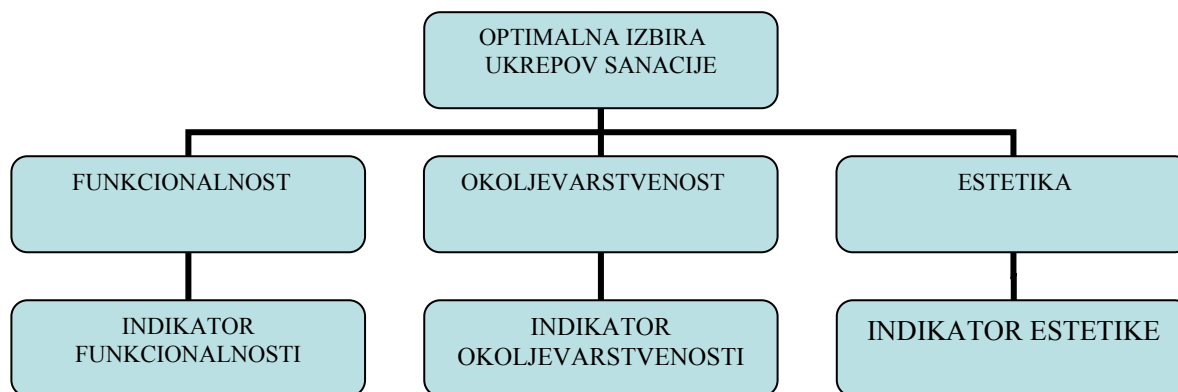
V nadaljevanju diplomskega dela, ki prikazuje uporabo orodja za odločanje, prikazanega v prejšnjem razdelku, pa bomo zaradi preglednosti upoštevali naslednje vidike oz. kriterije:

- funkcionalni,
- estetski in
- okoljevarstveni vidik.

Pri tem navedeni vrstni red ne odraža prioritete vidikov.

4 PRIMER

Metodo smo testirali na realnem primeru sanacije stanovanjskega objekta, ki se nahaja v Ljubljani. Scenarij obnove smo definirali na osnovi treh kriterijev: okoljski, funkcionalni in estetski. Drevo kriterijev (slika 4.1) zaznamujejo štiri vozlišča: glavni cilj (optimalna izbira ukrepov sanacije) in tri kriteriji z njihovimi indikatorji. Na bazi finančne omejitve in drugih omejitev, smo maksimizirali objektivno funkcijo. S tem primerom nismo samo predstavili delovanje metode nahrbtnika, ampak smo predvsem testirali uporabnost in funkcionalnost modela nahrbtnika v primerih reševanja takšnih in podobnih problemov.



Slika 4.1: Drevo kriterijev primera sanacije stanovanjskega objekta

4.1 Splošna predstavitev objekta

Obravnavali smo primer večstanovanjske stavbe, ki je bila zgrajena leta 1960 v Ljubljani (slika 4.2). Objekt ima 40 stanovanj in v njem stanuje 95 stanovalcev. Ogrevanje, ki je bilo vgrajeno leta 1980, je centralno, daljinsko (KEL); vgrajeni so bili radiatorji emoterm in navadni radiatorski ventili. Celotna ogrevana površina objekta je 1.860 m². Priprava sanitarne vode pa je individualna, s plinskimi grelniki, ki so vgrajeni v kopalnicah. Skupna površina

ovoja objekta, ki je v stiku z zunanjim okoljem je 1.191 m² (vključno z motnimi in prozornimi deli ovoja).



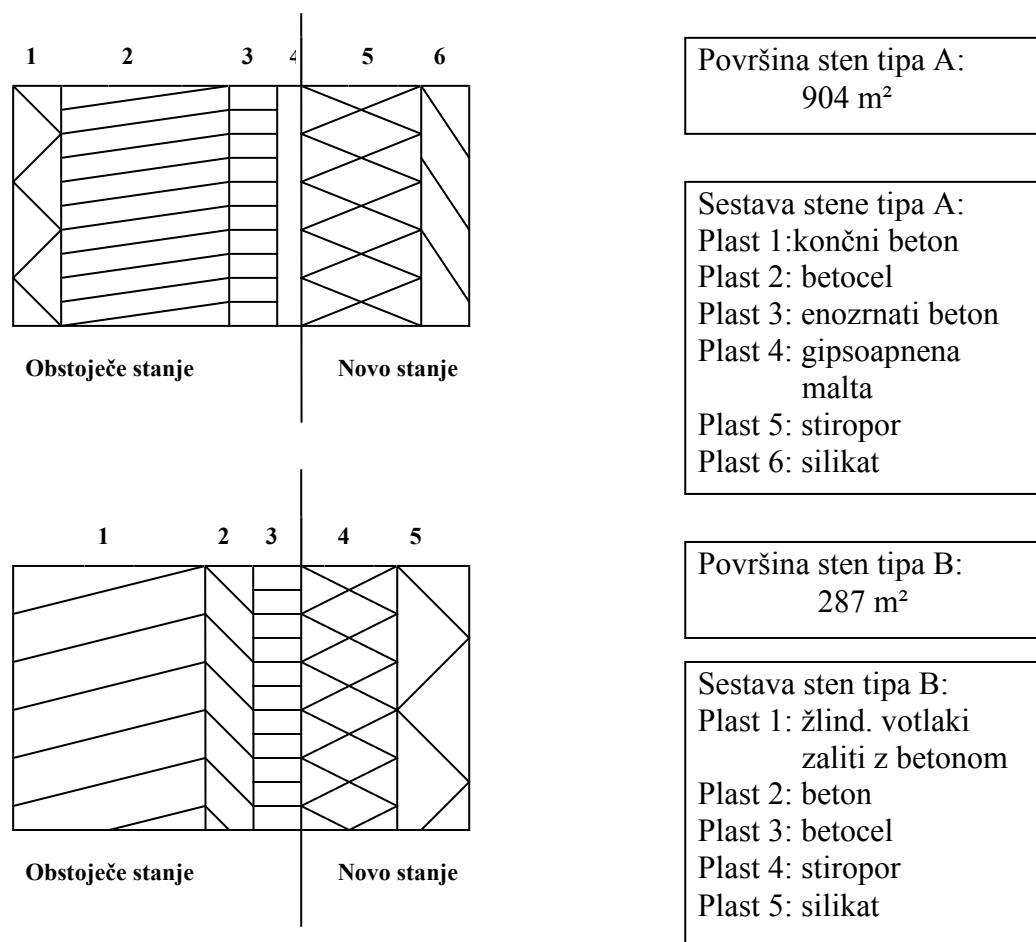
Slika 4.2: Večstanovanjska stavba zgrajena leta 1960 (Šijanec in Šelih, 2005)

Površina oken je 189 m². Obstoječa struktura ovoja (slika 4.3) je zgrajena iz prefabriciranih betonskih plošč (debeline 16 cm), katerih jedro je zmerna toplotna izolacija debeline 8 cm, iz mešanice betona in lesenih odkruškov ("betocel").

4.1.1 Ocena stanja objekta

Da bi lahko izbrali ustrezne vrste ukrepov, ki bodo izboljšali nivo obnašanja stavbe, bomo najprej predstavili in ocenili obstoječe stanje. Objekt je bil projektiran in zgrajen v obdobju, ko ni bilo ne predpisov in ne zahtev glede toplotne izolacije in energetske učinkovitosti v

objektih. Takratni gradbeni pravilniki so podajali približne U vrednosti prehoda energije; za opečne strukture zunanjih zidov je bil U faktor $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$, za dvojno zastekljena okna z običajno visokim zračnim uhajanjem pa $2,7 \text{ W/m}^2\text{K}$. Iz energetskega poročila je razvidno, da se lahko na ovojju objekta prihrani 40% potencialne izgube energije.



Slika 4.3: Sestava sten tipa A in B po in pred posegom

Priporoča se postavitev toplotne izolacije na zunanje zidove in zamenjava obstoječih oken z energijsko učinkovitimi, tako kot določuje "Pravilnik toplotne izolativnosti in energetske učinkovitosti objektov iz leta 2002" za zahteve novih objektov (Šijanec in Šelih, 2005). Izgube energije lahko zmanjšamo tudi z zamenjavo ali z ustrezno sanacijo strehe. Ker je zunanji videz stavbe vidno dotrajan, bi bilo primerno prenoviti tudi fasado, sanirati cokol stavbe in vgraditi primerna senčila.

Preglednica 4.1: Spisek ukrepov sanacije, cen in okoljske F_o , funkcionalne F_f ter estetske F_e ocene vseh ukrepov

N	Ukrepi sanacije	Cena (SIT)	F_o [0,10]	F_f [-10,10]	F_e [-10,10]
1	Toplotna izolacija - stiropor na zunanji steni debeline 4 cm	2300/m ²	3	-2	0
2	Toplotna izolacija - stiropor na zunanji steni debeline 6 cm	2000/m ²	5	-5	0
3	Toplotna izolacija - stiropor na zunanji steni debeline 8 cm	1800/m ²	7	-8	0
4	Fasada tipa A (demit mrežica, dvakrat demit, lepilo, zariban omet)	4200/m ²	0	-1	3
5	Fasada tipa B (demit mrežica, dvakrat demit, lepilo, max laminat)	29200/m ²	0	-4	6
6	Fasada tipa C (demit mrežica, dvakrat demit, lepilo, prezračevan prostor, fasadna opeka – obdelana fuga)	7700/m ²	0	-6	8
7	Toplotna izolacija - tervol na strehi debeline 4 cm	900/m ²	1	-1	0
8	Toplotna izolacija - tervol na strehi debeline 6 cm	1300/m ²	3	-3	0
9	Toplotna izolacija - tervol na strehi debeline 8 cm	1450/m ²	6	-5	0
10	Streha v naklonu tipa A (deske, strešna lepenka, letve + kontraletve, korci na propen)	7600/m ²	0	1.5	5
11	Streha v naklonu tipa B (deske, strešna lepenka, letve + kontraletve, francoski korec)	8800/m ²	0	1.5	8
12	Streha v naklonu tipa C (deske, strešna lepenka, letve + kontraletve, bramac mediteran)	7800/m ²	0	2	6
13	Ravna nepohodna streha (AB plošča, tervol TSK (6 cm), filc, sarnafil)	33100/m ²	1.5	3	2
14	Ravna pohodna streha (AB plošča, tervol TSK (6 cm), filc, sarnafil, kulir plošča)	35900/m ²	1.5	6	4
15	Leseno okno (140 x140) z navadnim steklom termopan	40000/kos	0.8	1	5
16	PVC okno- prekinjen toplotni most in dvojno tesnenje (140 x 140) z navadnim steklom termopan, (U=1.5 W/m ² K)	50000/kos	0.5	2	3
17	Okno iz aluminija –prekinjen toplotni most in dvojno tesnenje (140 x140) z navadnim steklom termopan (U=1.5 W/m ² K)	60000/kos	0.5	2	2
18	Leseno okno (140 x140), steklo termopan – vzorec "činčila"	44000/kos	0.8	1	7
19	PVC okno- prekinjen toplotni most in dvojno tesnenje (140 x140), steklo termopan – vzorec "činčila", (U=1.5 W/m ² K)	55000/kos	0.5	2	5
20	Okno iz aluminija- prekinjen toplotni most in dvojno tesnenje (140 x140), steklo termopan – vzorec "činčila", (U=1.5 W/m ² K)	66000/kos	0.5	2	4
21	Lesena polkna	35000/kos	0.2	0.5	8
22	PVC polkna	45000/kos	0.2	1	4
23	Polkna iz aluminija	55000/kos	0.2	1	4
24	Notranja žalozija	5000/m ²	0	3	3
25	Rolete (podometne)-140 x 140	35000/okno	0.1	2	2

26	Cokel obložen s sivim laporjem	3200/m ²	0	4	2.5
27	Cokel v barvi belega marmorina (1 cm izolacije, demit mrežica + lepilo, zaključni sloj bele barve)	3500/m ²	0	2	1
28	Cokel v barvi barvanega marmorina (1 cm izolacije, demit mrežica + lepilo, zaključni barvani sloj)	5000/m ²	0	2	4
29	Balkonska ograja iz navadnega železa	30000/t.m.	0	1	3
30	Balkonska ograja iz kovanega železa (izdelava, cinkanje, barvanje, montaža)	60000/t.m.	0	1	8
31	Balkon z zidanim zidom višine 90 cm (marmorin, fasadna opeka, marmorin), na katerem je marmorska polica	19900/t.m.	0	2	6.5
32	Zaprta balkon z zidanim zidom višine 90 cm (marmorin, fasadna opeka, marmorin), na katerem je marmorska polica in zgoraj zastekljen (profil iz aluminija)	19900/t.m.+ 450000 SIT	1.2	6	4
33	Zaprta balkon z zidanim zidom do višine 90 cm (marmorin, fasadna opeka, marmorin), na katerem je marmorska polica in zgoraj zastekljen (PVC profil)	19900/t.m.+ 360000 SIT	1.2	6	4

V preglednici 4.1 so zbrani vsi možni ukrepi primerne in učinkovite sanacije stanovanjskega objekta. Cene na enoto, ki so v zgornji preglednici navedene za vsak ukrep posebej, sem dobil na gradbenem podjetju MAKRO 5 GRADNJE. Okoljski, funkcionalni in estetski faktorji so ocene ukrepov glede na posamezen kriterij. Ocene oz. faktorji so dobljeni na podlagi subjektivne presoje, ki je opisana v nadaljevanju. Dobljene vrednosti za posamezne faktorje lahko torej smatramo za prvi približek; če bi želeli natančnejšo določitev faktorjev, bi morali pridobiti bolj natančne podatke o posameznih ukrepih.

Sanacijske ukrepe smo razdelili v devet skupin:

- dodatna toplotna izolacija zunanjih sten,
- fasade,
- dodatna toplotna izolacija na strehi,
- strehe v naklonu,
- ravne strehe,
- okna,
- senčila,
- obdelava cokla in
- ureditev balkonov.

Prvi cilj saniranja tako starega objekta kot je v našem primeru, je izboljšanje toplotne izolativnosti samega ovoja objekta. Zato sem pri ovrednotenju okoljskih faktorjev upošteval koliko posamezen sanacijski ukrep vpliva na zmanjšanje emisij plina CO₂, glede na prvotno stanje objekta. Bolj kot sanacijski ukrep poveča toplotno izolativnost, manjša je potreba po ogrevanju objekta in posledično manjše so emisije ogljikovega dioksida. Ker so toplotne izgube skozi ovoj objekta največje, so faktorji okoljevarstvenosti največji pri ukrepih vgraditve toplotne izolacije na stene in streho. Če natančneje pogledamo, opazimo, da so dodeljeni faktorji okoljevarstvenosti bistveno večji pri dodajanju toplotne izolacije na stene, saj je celotna površina sten veliko večja od površine strehe, in so zato posledično toplotne izgube drastično večje skozi stene objekta. Nadalje je za toplotno udobje v prostoru zelo pomemben tudi ukrep zamenjave oken. Na okoljevarstvenost vpliva v manjši meri še ukrep izdelave balkonske verande, katera izniči direkten stik zunanjega ovoja z zunanjim okoljem in tako omili direkten zunanji vpliv nizkih temperatur na notranje ugodje. Vsi ostali ukrepi ne vplivajo bistveno na toplotno izolativnost, zato sem jim dodelil minimalne ali ničelne faktorje okoljevarstvenosti.

Faktorje funkcionalnosti smo določili na osnovi sledečih postavk (Alanne, 2004):

- Enostavnost izvedbe tega ukrepa sanacije?
- So pri tem potrebna še dodatna dela za izvedbo tega ukrepa?
- Se za izvedbo tega ukrepa zahtevajo katere nove metode, ki še ne obstajajo?
- Vpliv ukrepa na udobnost?
- Vpliv ukrepa na zanesljivost?
- Potreben prostor za izvedbo del?
- Skladnost z obstoječo konstrukcijo?
- Kakšen je vpliv na fizične karakteristike objekta?
- Vpliv ukrepa na uporabnost objekta?
- Vpliv ukrepa na vzdrževanje?

Zaradi zamudnosti in zahtevnosti del smo negativne faktorje funkcionalnosti namenili predvsem ukrepom dodajanja toplotne izolacije na stene in streho, kot tudi izdelavi fasade. Prav v tem primeru lahko vidimo kompenzacijo kriterijev, saj imata ukrepa dodajanja toplotne izolacije pri kriteriju okoljevarstvenosti dokaj visoke ocene, pri kriterijih funkcionalnosti pa

so te ocene celo negativne. Pri ravni strehi je sama izvedba dokaj lažja kot pri strehi v naklonu, funkcionalnost pa se še dodatno poveča v primeru ravne pohodne strehe.

Boljše tesnenje oken in novi napredni materiali, ki se uporabljajo za izdelavo samih oken, kot sta na primer aluminij in PVC, zmanjšajo izpostavljanje prepihu, radiacijam in hrupu. Vse to se kaže v pozitivnih faktorjih funkcionalnosti. Med senčili smo najvišji faktor funkcionalnosti dodelili notranji žaloziji, zaradi enostavnosti montaže in priročne enostavne uporabnosti. Ker je na notranji strani okna, ni izpostavljena zunanjim vplivom razpadanja in zato jo ni potrebno vzdrževati. Cokel ima poleg estetskega vidika tudi nalogo ščititi ovoj pred deževnico in talno vodo, zaradi lažje izdelave pa je funkcionalnost cokla obloženega s sivim laporjem še večja. Balkonska veranda pa nam nudi še dodaten prostor; ker je v celoti zaprt lahko služi različnim namenom, izboljša tudi kvaliteto notranjega bivanja; težja je le izvedba, a mu vseeno dodelimo dokaj visok faktor funkcionalnosti.

Kriterij estetike predstavlja povsem subjektivno ocenjevanje, zato je vsakršno komentiranje ocen povsem osebno naravnano in temelji na posameznikovih željah in okusih.

4.2 Izhodiščni primer

V preglednici 4.1 so zbrani vsi možni ukrepi obnove. V primeru, da ni definiranih nobenih omejitev, je možnih 2^{27} sanacijskih scenarijev. Običajno pa je rešitev problema brez definiranih omejitev trivialna in sicer je rešitev sestavljena iz ukrepov, ki imajo ne-negativne koristi.

V modelu nahrbtnika velja, da ima izbrani ukrep a_i vrednost 1, neizbrani pa vrednost 0, zato moramo za vse ukrepe zastaviti sledečo omejitev

$$a_i \in \{0,1\}. \quad (4.1)$$

Druga omejitev, ki smo jo postavili je bila finančna omejitev. V izhodiščnem primeru smo za sanacijo obravnavanega objekta predpostavili, da lahko celotna obnova stane največ

20,000,000 SIT, kar predstavlja za vsako stanovanje znosen strošek v višini 800,000 SIT. Navedeno finančno omejitev smo zapisali v matematični obliki:

$$\sum_{i=1}^{33} a_i * C_i \leq 20,000,000 \quad (4.2)$$

Sledeče omejitve omejujejo kompatibilnost med navedenimi sanacijskimi ukrepi s tem, ko določujejo le eno izbiro sanacijskega ukrepa iz vsake zgoraj navedene skupine. Primer ene od devetih takšnih podobnih omejitev je,

$$\sum_{i=1}^3 a_i = 1 \quad (4.3)$$

katera določuje eno izbiro debeline toplotne izolacije na zunanji steni v posameznem poskusu. Dodatne omejitve smo zapisali za ukrepe vgraditve toplotne izolacije na strehi in za izbiro vrste strehe. Toplotna izolacija na strehi je nujno potrebna v primeru, ko je bila izbrana streha v naklonu in posledično odpade ukrep ravne strehe; po drugi strani pa sta izločena ukrepa toplotne izolacije na strehi in strehe v naklonu pri izbiri ravne strehe. Matematična oblika teh pogojev je:

$$\sum_{i=7}^9 a_i \leq 1 \quad \sum_{i=10}^{12} a_i \leq 1 \quad \sum_{i=13}^{14} a_i \leq 1 \quad \text{in naprimer} \quad a_7 \geq a_{10}. \quad (4.4)$$

Za reševanje optimizacijskega problema, ki je definiran z enačbami (4.1), (4.2) in (4.3) in (4.4), smo izdelali program, v katerem smo za reševanje teh enačb uporabili funkcijo Solver MS Excela. Izdelani program nam torej kot rezultat poda kombinacijo ukrepov obnove, ki rezultirajo v največji skupni koristi glede na vnaprej izbrane kriterije in vrednost dosežene skupne koristi (za izbran niz oz. kombinacijo ukrepov obnove).

Pri definiranju in reševanju obravnavane stavbe ni bilo na voljo informacij o željah in zahtevah obnove, zato smo upoštevali različne stopnje pomembnosti posameznih uporabljenih

kriterijev, to je kriterijev trajnostnega (oz. okoljevarstvenega) vidika, funkcionalnosti in estetskega vidika.

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

Tako lahko pri izbiranju upoštevamo

- le po posamičen kriterij (izbiro vrednotimo le glede na npr. trajnostni vidik) – to so kombinacije 100/0/0, 0/100/0, 0/0/100 v preglednici 4.2,
- predpostavimo, da je eden od kriterijev nepomemben, ostala dva pa imata enako težo - to so kombinacije 0/50/50, 50/0/50, 50/50/0 v preglednici 4.2,
- vsem kriterijem pripišemo enako pomembnost – kombinacija 33/33/33 v preglednici 4.2.

Možne so seveda tudi drugačne kombinacije pomembnosti posameznih kriterijev, kar pa je predmet odločitve tistih, ki uporabljajo naše računalniško odločitveno orodje.

Za vsak nivo finančne omejitve smo analizirali sedem načinov dodelitve pomembnosti (ponderiranja), katere smo navedli v preglednici 4.2.

Preglednica 4.2: Izbrane stopnje pomembnosti (načini ponderiranja) za posamezne kriterije (okoljski/funkcionalni/estetski)

Načini ponderiranja	Ponderji
Povsem okoljsko naravnano ponderiranje	100/0/0
Povsem funkcionalno naravnano ponderiranje	0/100/0
Povsem estetsko naravnano ponderiranje	0/0/100
Funkcionalno in estetsko naravnano ponderiranje	0/50/50
Okoljsko in estetsko naravnano ponderiranje	50/0/50
Okoljsko in funkcionalno naravnano ponderiranje	50/50/0
Enakovredno ponderiranje vseh treh kriterijev	33/33/33

Rešitve za izhodiščni primer, ki so prikazane v preglednicah 4.4 a in b kažejo, da z večanjem pomembnosti trajnostnega vidika raste debelina toplotne izolacije na zunanjih stenah in na

strehi. Obratno se zgodi v primeru, ko ima veliko pomembnost funkcionalni vidik, kjer zaradi zamudnosti in večje zahtevnosti vgradnje program izbere ukrepe z manjšo toplotno izolacijo. Izbiro lesenih oken ne glede na pomembnost posameznih kriterijev lahko pripišemo dobri toplotni izolativnosti samega lesa in izboljšanju estetskega videza objekta z vgradnjo le teh. Zaradi znatno nižje cene fasade tipa A, žalozije in balkona z zidanim zidom višine 90 cm, na katerem je marmorska polica, napram ostalim ukrepom iz teh skupin, se ti trije sanacijski ukrepi nahajajo prav v vseh alternativah izhodiščnega primera. Poudariti velja, da lahko rezultira metoda nahrbtnika pri izbranih pogojih in omejitvah v večih rešitvah, ki dajejo vse enako skupno korist. V primeru, ko je pomemben le trajnostni oz. okoljski vidik, dobimo torej 18 rešitev, ki imajo pri finančni omejitvi 20,000,000 SIT vse enako skupno korist 13,80 (preglednica 4.3).

Preglednica 4.3: Izhodiščni primer – cene in dosežene koristi dobljenih 18-tih variantnih rešitev, v primeru, da temelji izbira le na okoljskem kriteriju

Oznake	Cena sanacije [SIT]	Skupna korist
a	19,022,760	13,80
b	19,036,650	13,80
c	19,106,100	13,80
d	19,469,160	13,80
e	19,483,050	13,80
f	19,552,500	13,80
g	19,097,160	13,80
h	19,111,050	13,80
i	19,180,500	13,80
j	19,342,760	13,80
k	19,356,650	13,80
l	19,426,100	13,80
m	19,789,160	13,80
n	19,803,050	13,80
o	19,872,500	13,80
p	19,417,160	13,80
r	19,431,050	13,80
s	19,500,500	13,80

Preglednica 4.4b: Izhodiščni primer: dobljene variantne rešitve v primeru, da temelji izbira na ostalih kombinacijah pomembnosti kriterijev (1=izbran ukrep, 0=neizbran ukrep)

20,000,000 SIT	Izbrane variante (1: izbrana opcija)										
	0/100/0		0/0/100				0/50/50	50/0/50	50/50/0	33/33/33	
1	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0
2	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1
3	0	0	0	1	1	1	0	1	0	0	0
4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1	0
8	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
9	0	0	0	0	0	1	0	1	1	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	1	1	1	1	0	1	0	1	1
12	1	1	0	0	0	0	1	0	1	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	1	1	0	0	0	0	1	0	1	1	1
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	1	1	1	1	0	1	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cena sanacije	19,488,060	19,808,060	19,906,100	19,667,900	19,816,700	19,872,500	19,808,060	19,872,500	19,692,660	19,971,560	19,822,760
Skupna korist	8,00	8,00	31,50	31,50	31,50	31,50	18,00	22,65	6,90	13,63	13,63

4.3 Analiza občutljivosti

S pomočjo analize občutljivosti smo analizirali, katera od dodeljenih ocen (faktorjev) ima največji vpliv na spremembo dobljenih rešitev pri finančnih omejitvah 20 in 30 milijonov SIT, če jo spremenimo za $\pm 15\%$. S takšno analizo lahko vidimo, kako občutljiva je rešitev na eventualno spremembo faktorja, ki nastopi npr. takrat, ko o določenem ukrepu pridobimo dodatne informacije. V analizi smo upoštevali najvišje ocene (faktorje), za katere pričakujemo, da bodo imeli največji vpliv na dobljeno rešitev; to so faktorji $F_{o,3}$, $F_{o,9}$, $F_{f,3}$, $F_{f,6}$, $F_{e,6}$, $F_{e,11}$, $F_{e,28}$, $F_{e,29}$. Navedene faktorje smo glede na prvotno (originalno) vrednost spreminjali za $\pm 15\%$ (preglednica 4.5).

Dobljene rezultate smo primerjali z osnovno rešitvijo pri originalnih, nespremenjenih faktorjih in v preglednicah 4.6a do 4.6h smo navedli spremembe rešitev. Kot je razvidno iz preglednic 4.6f, 4.6g in 4.6h, smo največje spremembe zabeležili pri spreminjanju faktorja $F_{e,28}$ in sicer pri finančni omejitvi 30 milijonov SIT.

Zmanjšanje ali povečanje okoljskih faktorjev $F_{o,3}$ in $F_{o,9}$ za $\pm 15\%$ znatno vpliva na spremembo dobljenih rešitev. Tako pri 20 kot pri 30 mio finančni omejitvi, ko povečamo okoljski faktor ukrepa vgraditve toplotne izolacije debeline 8 cm na streho, se v spremenjenih rešitvah vedno pojavi ta ukrep. Še več, v eni od spremenjenih rešitev, je program poleg ukrepa vgraditve maksimalne možne toplotne izolacije na streho, izbral tudi ukrep vgraditve maksimalne možne debeline toplotne izolacije na steno. Sprememba okoljskega faktorja $F_{o,3}$ vpliva tudi na izbiro debeline toplotne izolacije zunanjih sten. Lesena okna pa je program zamenjal s PVC okni. Zmanjšanje okoljskega faktorja ukrepa vgraditve maksimalne toplotne izolacije na zunanje stene, se pokaže v eliminaciji tega ukrepa iz možnih rešitev. Pri 30 mio finančni omejitvi, pa povečanje tega istega okoljskega faktorja povzroči totalno spremembo celotne strešne konstrukcije; ravno pohodno streho v spremenjeni rešitvi zamenja streha v naklonu z maksimalno možno toplotno izolacijo (8 cm). Ker je streha v naklonu cenejša kot ravna pohodna streha, si v spremenjeni rešitvi za enako končno ceno obnove, namesto kovinske ograje lahko privoščimo kovano balkonsko ograjo.

Preglednica 4.5: Faktorji, ki jih upoštevamo v analizi občutljivosti (označeni s temnejšo barvo)

Oznaka ukrepov	Originalni faktorji (ocene ukrepov)		
	F _o	F _f	F _e
1	3	-2	0
2	5	-5	0
3	7	-8	0
4	0	-1	3
5	0	-4	6
6	0	-6	8
7	1	-1	0
8	3	-3	0
9	6	-5	0
10	0	1,5	5
11	0	1,5	8
12	0	2	6
13	1,5	3	2
14	1,5	6	4
15	0,8	1	5
16	0,5	2	3
17	0,5	2	2
18	0,8	1	7
19	0,5	2	5
20	0,5	2	4
21	0,2	0,5	0,08
22	0,2	1	4
23	0,2	1	4
24	0	3	3
25	0,1	2	2
26	0	4	2,5
27	0	2	1
28	0	2	4
29	0	1	3
30	0	1	8
31	0	2	6,5
32	1,2	6	4
33	1,2	6	4

Preglednica 4.6a: Prikaz originalnih in spremenjenih rešitev pri spreminjanju okoljskih faktorjev $F_{0,3}$ in $F_{0,9}$ pri finančni omejitvi 20 mio SIT

20,000,000	Okoljski vidik (spreminjanje $F_{0,3}$ in $F_{0,9}$ za $\pm 15\%$)							
Oznaka ukrepa	$F_{0,spr.}$	Or. Reš.A	Spr. Reš. A	Or. Reš.B	Spr. Reš.B	$F_{0,spr.}$	Or. Reš.C	Spr. Reš.C
1	3,00	1	0	0 0	0	3,00	1	1 1 1 1
2	5,00	0	0	1 1	0	5,00	0	0 0 0 0
3	(+) 8,5	0	1	0 0	1	7,00	0	0 0 0 0
4	0,00	1	1	1 1	1	0,00	1	1 1 1 1
5	0,00	0	0	0 0	0	0,00	0	0 0 0 0
6	0,00	0	0	0 0	0	0,00	0	0 0 0 0
7	1,00	0	0	1 0	0	1,00	0	1 0 1 0
8	3,00	0	0	0 1	0	3,00	0	0 1 0 1
9	6,00	1	1	0 0	1	(-) 4,5	1	0 0 0 0
10	0,00	0	0	0 0	0	0,00	0	0 0 0 0
11	0,00	0	0	1 1	1	0,00	0	0 0 0 0
12	0,00	1	1	0 0	0	0,00	1	1 1 1 1
13	1,50	0	0	0 0	0	1,50	0	0 0 0 0
14	1,50	0	0	0 0	0	1,50	0	0 0 0 0
15	0,80	1	0	0 0	0	0,80	1	1 1 0 0
16	0,50	0	1	0 0	0	0,50	0	0 0 0 0
17	0,50	0	0	0 0	0	0,50	0	0 0 0 0
18	0,80	0	0	1 1	1	0,80	0	0 0 1 1
19	0,50	0	0	0 0	0	0,50	0	0 0 0 0
20	0,50	0	0	0 0	0	0,50	0	0 0 0 0
21	0,20	0	0	0 0	0	0,20	0	0 0 0 0
22	0,20	0	0	0 0	0	0,20	0	0 0 0 0
23	0,20	0	0	0 0	0	0,20	0	0 0 0 0
24	0,00	1	1	1 1	1	0,00	1	1 1 1 1
25	0,10	0	0	0 0	0	0,10	0	0 0 0 0
26	0,00	1	1	1 1	1	0,00	1	1 1 1 1
27	0,00	0	0	0 0	0	0,00	0	0 0 0 0
28	0,00	0	0	0 0	0	0,00	0	0 0 0 0
29	0,00	0	0	0 0	0	0,00	0	0 0 0 0
30	0,00	0	0	0 0	0	0,00	0	0 0 0 0
31	0,00	1	1	1 1	1	0,00	1	1 1 1 1
32	1,20	0	0	0 0	0	1,20	0	0 0 0 0
33	1,20	0	0	0 0	0	1,20	0	0 0 0 0

V preglednici 4.6a:

- sta originalna in spremenjena rešitev "A" dobljeni pri kombinaciji ponderjev 50/50/0,
- so originalne in spremenjena rešitev "B" dobljene pri kombinaciji ponderjev 33/33/33,
- so originalna in spremenjene rešitve "C" dobljene pri kombinaciji ponderjev 50/50/0.

Preglednica 4.6b: Prikaz originalnih in spremenjenih rešitev pri spreminjanju okoljskih faktorjev $F_{0,3}$ in $F_{0,9}$ pri finančni omejitvi 30 mio SIT (originalni in spremenjena rešitev "D" so dobljene pri kombinaciji ponderjev 50/50/0; originalna in spremenjena rešitev "E" sta dobljeni pri kombinaciji ponderjev 33/33/33)

30,000,000	Okoljski vidik (spreminjanje $F_{0,3}$ in $F_{0,9}$ za $\pm 15\%$)					
	Oznaka ukrepa	$F_{0,spr.}$	Or. Reš.D	Spr. Reš.D	$F_{0,spr.}$	Or. Reš.E
1	3,00	1 1	0	3,00	1	1
2	5,00	0 0	0	5,00	0	0
3	(+) 8,5	0 0	1	7,00	0	0
4	0,00	1 1	1	0,00	1	1
5	0,00	0 0	0	0,00	0	0
6	0,00	0 0	0	0,00	0	0
7	1,00	0 0	0	1,00	0	0
8	3,00	0 0	0	3,00	0	0
9	6,00	0 0	0	(+) 7,5	0	1
10	0,00	0 0	0	0,00	0	0
11	0,00	0 0	0	0,00	0	1
12	0,00	0 0	0	0,00	0	0
13	1,50	0 0	0	1,50	0	0
14	1,50	1 1	1	1,50	1	0
15	0,80	1 0	0	0,80	0	0
16	0,50	0 0	1	0,50	0	0
17	0,50	0 0	0	0,50	0	0
18	0,80	0 1	0	0,80	1	1
19	0,50	0 0	0	0,50	0	0
20	0,50	0 0	0	0,50	0	0
21	0,20	0 0	0	0,20	0	0
22	0,20	0 0	0	0,20	0	0
23	0,20	0 0	0	0,20	0	0
24	0,00	1 1	1	0,00	1	1
25	0,10	0 0	0	0,10	0	0
26	0,00	1 1	1	0,00	1	1
27	0,00	0 0	0	0,00	0	0
28	0,00	0 0	0	0,00	0	0
29	0,00	0 0	0	0,00	0	0
30	0,00	0 0	0	0,00	0	1
31	0,00	1 1	1	0,00	1	0
32	1,20	0 0	0	1,20	0	0
33	1,20	0 0	0	1,20	0	0

Preglednica 4.6c: Prikaz originalnih in spremenjenih rešitev pri spreminjanju funkcionalnega faktorja $F_{f,3}$ pri finančni omejitvi 20 mio SIT (originalna in spremenjena rešitev "F" sta dobljeni pri kombinaciji ponderjev 50/50/0; originalni in spremenjena rešitev "G" so dobljene pri kombinaciji ponderjev 33/33/33)

Oznaka ukrepa	Funkcionalni vidik (spreminjanje $F_{f,3}$ za $\pm 15\%$)				
	$F_{f,spr.}$	Or. Reš.F	Spr. Reš.F	Or. Reš.G	Spr. Reš.G
1	-2,00	1	0	0 0	0
2	-5,00	0	0	1 1	0
3	(+) -6,5	0	1	0 0	1
4	-1,00	1	1	1 1	1
5	-4,00	0	0	0 0	0
6	-6,00	0	0	0 0	0
7	-1,00	0	0	1 0	0
8	-3,00	0	0	0 1	0
9	-5,00	1	1	0 0	1
10	1,50	0	0	0 0	0
11	1,50	0	0	1 1	1
12	2,00	1	1	0 0	0
13	3,00	0	0	0 0	0
14	6,00	0	0	0 0	0
15	1,00	1	0	0 0	0
16	2,00	0	1	0 0	0
17	2,00	0	0	0 0	0
18	1,00	0	0	1 1	1
19	2,00	0	0	0 0	0
20	2,00	0	0	0 0	0
21	0,50	0	0	0 0	0
22	1,00	0	0	0 0	0
23	1,00	0	0	0 0	0
24	3,00	1	1	1 1	1
25	2,00	0	0	0 0	0
26	4,00	1	1	1 1	1
27	2,00	0	0	0 0	0
28	2,00	0	0	0 0	0
29	1,00	0	0	0 0	0
30	1,00	0	0	0 0	0
31	2,00	1	1	1 1	1
32	6,00	0	0	0 0	0
33	6,00	0	0	0 0	0

Preglednica 4.6d: Prikaz originalnih in spremenjenih rešitev pri spreminjanju funkcionalnih faktorjev $F_{f,3}$ in $F_{f,6}$ pri finančni omejitvi 30 mio SIT (originalna in spremenjena rešitev "H" sta dobljeni pri kombinaciji ponderjev 50/50/0; originalna in spremenjena rešitev "I" sta dobljeni pri kombinaciji ponderjev 0/50/50)

30,000,000	Funkcionalni vidik (spreminjanje $F_{f,3}$ in $F_{f,6}$ za $\pm 15\%$)					
	Oznaka ukrepa	$F_{f,spr.}$	Or. Reš. H	Spr. Reš. H	$F_{f,spr.}$	Or. Reš. I
1	-2,00	1	0	-2,00	1	1
2	-5,00	0	0	-5,00	0	0
3	(+) -6,5	0	1	-8,00	0	0
4	-1,00	1	1	-1,00	1	0
5	-4,00	0	0	-4,00	0	0
6	-6,00	0	0	(+) -4,5	0	1
7	-1,00	0	0	-1,00	0	1
8	-3,00	0	0	-3,00	0	0
9	-5,00	0	0	-5,00	0	0
10	1,50	0	0	1,50	0	0
11	1,50	0	0	1,50	0	1
12	2,00	0	0	2,00	0	0
13	3,00	0	0	3,00	0	0
14	6,00	1	1	6,00	1	0
15	1,00	0	0	1,00	0	0
16	2,00	0	1	2,00	0	0
17	2,00	0	0	2,00	0	0
18	1,00	1	0	1,00	1	1
19	2,00	0	0	2,00	0	0
20	2,00	0	0	2,00	0	0
21	0,50	0	0	0,50	0	0
22	1,00	0	0	1,00	0	0
23	1,00	0	0	1,00	0	0
24	3,00	1	1	3,00	1	1
25	2,00	0	0	2,00	0	0
26	4,00	1	1	4,00	1	1
27	2,00	0	0	2,00	0	0
28	2,00	0	0	2,00	0	0
29	1,00	0	0	1,00	0	0
30	1,00	0	0	1,00	0	0
31	2,00	1	1	2,00	1	1
32	6,00	0	0	6,00	0	0
33	6,00	0	0	6,00	0	0

Preglednica 4.6e: Prikaz originalnih in spremenjenih rešitev pri spreminjanju estetskega faktorja $F_{e,11}$ pri finančni omejitvi 20 mio SIT (originalni in spremenjene rešitve "J" so dobljene pri kombinaciji ponderjev 0/0/100)

20,000,000	Estetski vidik (spreminjanje $F_{e,11}$ za $\pm 15\%$)					
Oznaka ukrepa	$F_{e,spr.}$	Or. Reš. J		Sprem. Reš.J		
1	0,00	0	0	0	1	1
2	0,00	1	1	1	0	0
3	0,00	0	0	0	0	0
4	3,00	1	1	1	1	1
5	6,00	0	0	0	0	0
6	8,00	0	0	0	0	0
7	0,00	1	0	0	1	0
8	0,00	0	1	0	0	1
9	0,00	0	0	1	0	0
10	5,00	0	0	0	0	0
11	(-) 6,50	1	1	0	0	0
12	6,00	0	0	1	1	1
13	2,00	0	0	0	0	0
14	4,00	0	0	0	0	0
15	5,00	0	0	0	0	0
16	3,00	0	0	0	0	0
17	2,00	0	0	0	0	0
18	7,00	1	1	1	1	1
19	5,00	0	0	0	0	0
20	4,00	0	0	0	0	0
21	0,08	0	0	0	0	0
22	4,00	0	0	0	0	0
23	4,00	0	0	0	0	0
24	3,00	1	1	1	1	1
25	2,00	0	0	0	0	0
26	2,50	1	1	1	1	1
27	1,00	0	0	0	0	0
28	4,00	0	0	0	0	0
29	3,00	0	0	0	0	0
30	8,00	0	0	0	0	0
31	6,50	1	1	1	1	1
32	4,00	0	0	0	0	0
33	4,00	0	0	0	0	0

Preglednica 4.6g: Prikaz originalnih in spremenjenih rešitev pri spreminjanju estetskih faktorjev $F_{e,6}$ in $F_{e,11}$ pri finančni omejitvi 30 mio SIT (originalna in spremenjena rešitev "M" sta dobljeni pri kombinaciji ponderjev 33/33/33; originalna in spremenjena rešitev "N" sta dobljeni pri kombinaciji ponderjev 33/33/33)

30,000,000	Estetski vidik (spreminjanje $F_{e,6}$ in $F_{e,11}$ za $\pm 15\%$)					
	$F_{e,spr.}$	Or. Reš. M	Spr. Reš. M	$F_{e,spr.}$	Or. Reš. N	Spr. Reš. N
1	0,00	1	1	0,00	1	1
2	0,00	0	0	0,00	0	0
3	0,00	0	0	0,00	0	0
4	3,00	1	0	3,00	1	1
5	6,00	0	0	6,00	0	0
6	(+) 9,5	0	1	8,00	0	0
7	0,00	0	1	0,00	0	0
8	0,00	0	0	0,00	0	0
9	0,00	0	0	0,00	0	1
10	5,00	0	0	5,00	0	0
11	8,00	0	1	(+) 9,5	0	1
12	6,00	0	0	6,00	0	0
13	2,00	0	0	2,00	0	0
14	4,00	1	0	4,00	1	0
15	5,00	0	0	5,00	0	0
16	3,00	0	0	3,00	0	0
17	2,00	0	0	2,00	0	0
18	7,00	1	1	7,00	1	1
19	5,00	0	0	5,00	0	0
20	4,00	0	0	4,00	0	0
21	0,08	0	0	0,08	0	0
22	4,00	0	0	4,00	0	0
23	4,00	0	0	4,00	0	0
24	3,00	1	1	3,00	1	1
25	2,00	0	0	2,00	0	0
26	2,50	1	1	2,50	1	1
27	1,00	0	0	1,00	0	0
28	4,00	0	0	4,00	0	0
29	3,00	0	0	3,00	0	0
30	8,00	0	0	8,00	0	1
31	6,50	1	1	6,50	1	0
32	4,00	0	0	4,00	0	0
33	4,00	0	0	4,00	0	0

Najmanj sprememb smo zabeležili pri modificiranju funkcionalnih faktorjev $F_{f,3}$ in $F_{f,6}$. Pri spreminjanju faktorja $F_{f,6}$ nismo zabeležili celo nobene spremembe. Zanimivo je, da ima povečanje funkcionalnega faktorja ukrepa vgraditve toplotne izolacije debeline 8 cm na zunanjo steno za posledico enake spremembe, kot povečanje okoljskega faktorja tega istega ukrepa. Če primerjamo preglednici 4.6a in 4.6c, lahko to hitro tudi opazimo. Pri finančni omejitvi 30 mio SIT, pa povečanje funkcionalne ocene fasade tipa C, povzroči izbiro te fasade; ravno pohodno streho v spremenjeni rešitvi zamenja streha v naklonu tipa B s toplotno izolacijo minimalne debeline 4 cm.

Zaradi velikega števila spremenjenih rešitev v primeru modifikacije izbranih estetskih faktorjev $F_{e,6}$, $F_{e,11}$, $F_{e,28}$ in $F_{e,29}$, bomo posebej analizirali primera finančne omejitve 20 in 30 mio SIT. Na podlagi spreminjanja izbranih estetskih faktorjev pri finančni omejitvi 20 mio SIT lahko ugotovimo da

- z zmanjšanjem faktorja $F_{e,11}$, se v spremenjeni rešitvi pojavi fasada tipa C; optimalna postane tudi maksimalna debelina toplotne izolacije na zunanji steni, na strehi pa program pogosto izbere minimalno toplotno izolacijo. Kljub temu, da toplotna izolacija tako na steni kot na strehi ne vpliva na estetski videz samega objekta, pa lahko opazimo, da se spremeni v odvisnosti od spremembe ostalih izbranih ukrepov,
- je edina sprememba, ki se pojavi pri zmanjšanju $F_{e,28}$, sprememba obloge cokla; v originalnih variantah je obloga cokla barvni marmorin, v spremenjeni pa sivi lapor,
- sprememba faktorjev $F_{e,6}$ in $F_{e,29}$ ne povzroči nobenih sprememb rešitev.

Spreminjanje izbranih estetskih faktorjev pri finančni omejitvi 30 mio SIT, pa vodijo k naslednjim ugotovitvam:

- povečanje $F_{e,6}$ ima enake posledice kot povečanje funkcijskega faktorja $F_{f,6}$, ki je povečanje funkcijskega faktorja fasade tipa C,
- podobno se zgodi tudi pri zvečanju estetskega faktorja $F_{e,11}$, le da je izbrana toplotna izolacija na strehi največja, poleg tega pa je program določil še kovano balkonsko ograjo,
- zmanjšanje $F_{e,28}$ vpliva le na izbiro sivega laporja kot obloge cokla. V preglednici 4.6h smo navedli le tri od devetih originalnih in spremenjenih rešitev P, saj se ostalih šest rešitev razlikuje le v debelini toplotne izolacije na strehi,
- faktor $F_{e,28}$ je nevtralen.

4.4 Spreminjanje finančnega vložka v obnovo (finančne omejitve)

V analizi primera smo želeli tudi ugotoviti, kako večanje finančne omejitve vpliva na izbor ukrepov oz. rešitev, ki nam jo ponudi izdelani program in ne dosežena korist. Rešitev oz. niz izbranih ukrepov in pripadajočo korist smo tako določili za spreminjajoče se finančne vložke.

Pri tem smo upoštevali sledeče finančne omejitve:

- 10,000,000 SIT,
- 20,000,000 SIT,
- 22,000,000 SIT,
- 24,000,000 SIT,
- 26,000,000 SIT,
- 30,000,000 SIT
- 35,000,000 SIT in
- brez finančne omejitve.

4.4.1 Vpliv višine finančnega vložka na izbor ukrepov obnove

V preglednici 4.7 smo nazorno prikazali spremembe rešitev za kombinacijo ponderjev 33/33/33 pri različnih finančnih omejitvah. Celotne rešitve za navedene omejitve so zbrane v Prilogah.

4.4.2 Vpliv višine finančnega vložka na skupno doseženo korist

Na sliki 4.4 je prikazana odvisnost med večanjem finančnega vložka in dobljene koristi v obnovo. Največje dosežene maksimalne koristi smo dobili v primeru, ko upoštevamo le estetski vidik (0/0/100), saj smo zaradi subjektivnega ocenjevanja določili največje faktorje estetike. Po drugi strani imamo v okoljsko in funkcionalno usmerjenih primerih majhne faktorje, zato posledično pri kombinaciji okoljskega in funkcionalnega vidika dobimo najmanjše dosežene maksimalne koristi.

Predstavljena študija rasti dosežene skupne koristi je lahko učinkovit način, da potencialnemu investitorju predstavimo alternativne možnosti izbire ukrepov in vpliv eventualnega

povečanja investicijskega vložka. Možno je namreč, da vodi relativno majhno povečanje vložka k velikemu povečanju skupno dosežene koristi.

Preglednica 4.7: Rešitve pri različnih finančnih omejitvah, za kombinacijo ponderjev 33/33/33

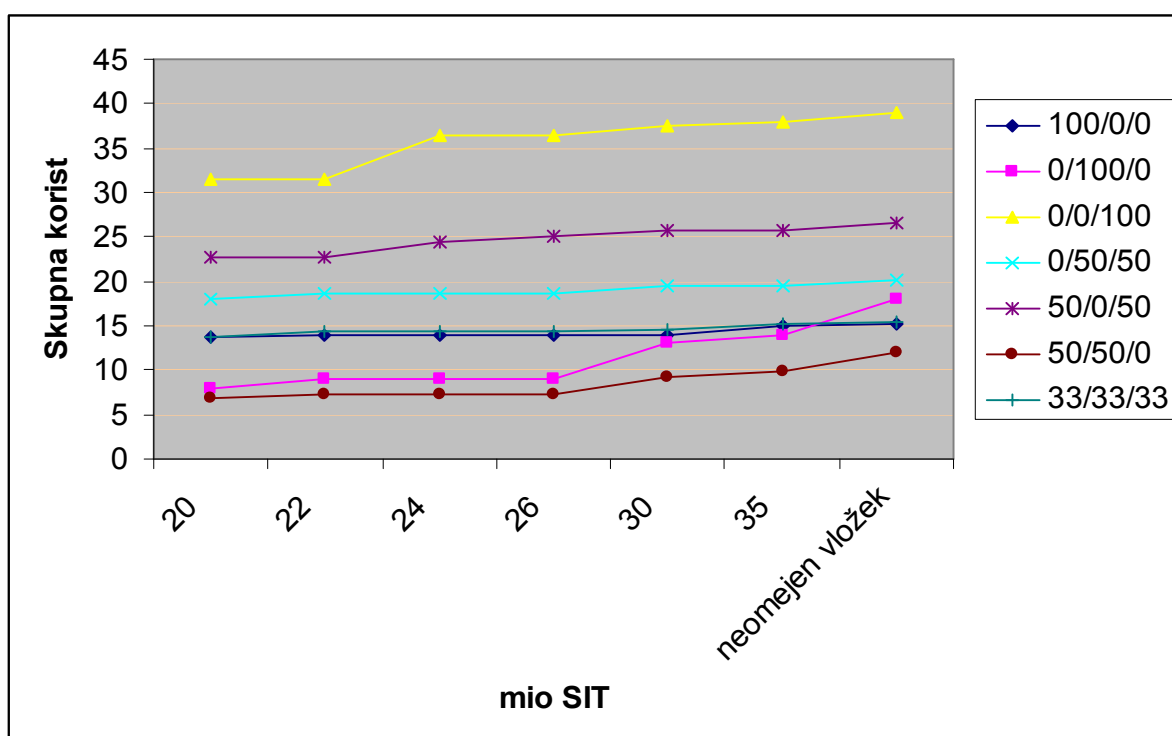
Oznaka ukrepa	Finančne omejitve							
	10 mio SIT	20 mio SIT	22 mio SIT	24 mio SIT	26 mio SIT	30 mio SIT	35 mio SIT	ni omejitve
1	0	0	1	1	1	1	1	1
2	0	1	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	1	1	1	1	1	1	1
5	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	1	0	1	1	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	1	0	0	0	1	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0
11	1	1	1	1	1	0	1	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	1	0	1
15	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0
18	1	1	1	1	1	1	1	1
19	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0
21	1	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	1	1	1	1	1	1	1
25	0	0	0	0	0	0	0	0
26	1	1	1	1	1	1	1	1
27	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	1	1	1	1	1	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	1
33	0	0	0	0	0	0	1	0

Predpostavimo, da investitor obnove določenega objekta naroči analizo ali raziskavo primera. Pri predstavitvi sanacijskih alternativ lahko investitorja s pomočjo slike 4.4 prepričamo, da bi recimo z malo večjim finančnim vložkom znatno pridobil na funkcionalnosti objekta. Kot

kaže krivulja kombinacije okoljskega in funkcionalnega vidika (50/50/0), pa bi se s še dodatnim povečanjem finančnih sredstev bistveno povečala skupna korist objekta, saj je skupna korist pri neomejenem vložku skoraj dvakrat večja od dosežene skupne koristi pri finančni omejitvi 20 mio SIT (preglednica 4.8).

Preglednica 4.8: Skupna dosežena korist pri spremenljivih finančnih omejitvah in različnih kombinacijah ponderjev za kriterije

Finančni vložek (SIT)	Kombinacija ponderjev za kriterije						
	100/0/0	0/100/0	0/0/100	0/50/50	50/0/50	50/50/0	33/33/33
20	13,80	8,00	31,50	18,00	22,65	6,90	13,63
22	14,00	9,00	31,50	18,75	22,65	7,25	14,29
24	14,00	9,00	36,50	18,75	24,40	7,25	14,29
26	14,00	9,00	36,50	18,75	25,15	7,25	14,29
30	14,00	13,00	37,50	19,50	25,75	9,15	14,62
35	15,00	14,00	38,00	19,50	25,75	9,85	15,18
neomejen vložek	15,20	18,00	39,00	20,25	26,50	12,10	15,51



Slika 4.4: Spreminjanje skupne dosežene koristi z večanjem finančne omejitve pri izbranih kombinacijah ponderjev za kriterije

4.5 Vpliv kombinacije ponderjev za kriterije na doseženo korist

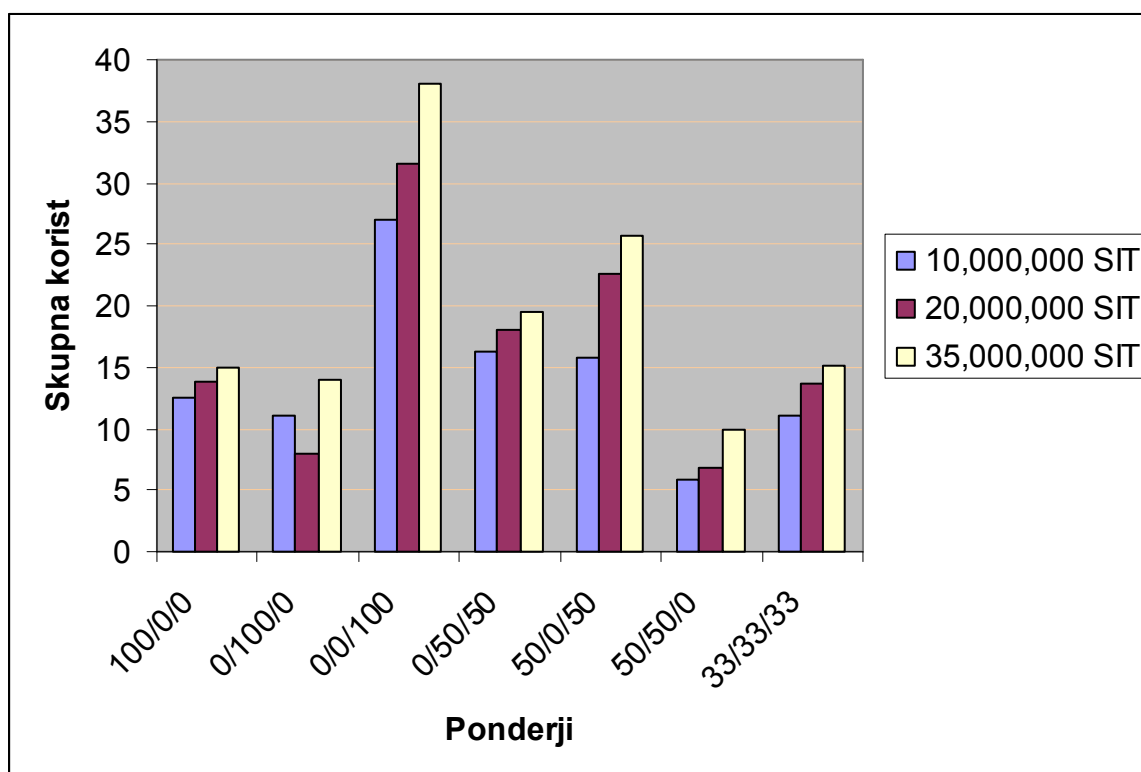
Dodatno smo iskali rešitev za optimalni niz ukrepov za primer, ko smo eliminirali omejitve, ki so predpisovale izbiro enega samega ukrepa iz vsake skupine ukrepov. Z nižanjem finančne omejitve smo iskali tudi minimalno vrednost omejitve, pri kateri poda program kot rešitev le 4 ukrepe. To se je zgodilo pri 10 mio SIT. V preglednici 4.9 so prikazani nizi ukrepov, ki nam jih ponudi kot rešitev program

Preglednica 4.9: Dobljene rešitve pri finančni omejitvi 10 mio SIT

10,000,000 Oznaka ukrepa	Izbrane variante (1: izbrana opcija)									
	100/0/0				0/100/0	0/0/100	0/50/50	50/0/50	50/50/0	33/33/33
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	1	1	1	0	0	0	1	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1	1	0	0	0	0	0	1	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	1	1	1	0	1
12	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0
16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	1	1	0	1	1	0	0	1
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	1	0	1	0	0	1	1	1	0	1
22	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	1	0	0	0	1	0
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	0	0	0	1	0	1	0	1	1
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	0	0	0	0	0	1	0	1	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
31	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
32	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
33	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Skupna korist	12,50	12,50	12,50	12,50	11,00	27,00	16,25	15,85	5,90	11,05

Hitro lahko opazimo, da je program za vse kombinacije ponderjev izbral iz vseh devetih skupin ukrepov. Pri vsaki kombinaciji ponderjev pa je bil izbran ukrep iz skupine senčil. Največkrat izbran ukrep pa je bil ukrep montaže lesenih polken.

Zanimal nas je tudi vpliv kombinacije ponderjev na doseženo korist pri finančnih omejitvah 10, 20 in 35 milijonih SIT. Slika 4.5 jasno kaže, da se z višanjem finančne omejitve večja tudi dosežena korist. Le v primeru, ko upoštevamo kot edini kriterij funkcionalnost, opazimo, da je korist pri omejitvi 10 mio SIT večja kot pri omejitvi 20 mio SIT. Vzrok pojava tega izstopajočega primera lahko razložimo s tem, da zaradi manjšega števila omejitev lahko program bolj prosto izbira med sanacijskimi ukrepi pri podani finančni omejitvi, zato lahko izbrana alternativa doseže večjo korist kot pri večji finančni omejitvi.



Slika 4.5: Vpliv ponderjev na doseženo korist pri finančni omejitvi 10, 20 in 35 mio SIT

Preglednica 4.10: Vpliv kombinacije ponderjev na doseženo korist

Kombinacija ponderjev za kriterije	Finančna omejitev (SIT)		
	10,000,000	20,000,000	35,000,000
100/0/0	12,50	13,80	15,00
0/100/0	11,00	8,00	14,00
0/0/100	27,00	31,50	38,00
0/50/50	16,25	18,00	19,50
50/0/50	15,85	22,65	25,75
50/50/0	5,90	6,90	9,85
33/33/33	11,05	13,63	15,18

5 ZAKLJUČKI

Večstanovanjske stavbe, zgrajene v obdobju med leti 1946 in 1980, predstavljajo bistven delež današnjega stanovanjskega fonda tako v Sloveniji, kot v drugih razvitih deželah; statistični podatki za Slovenijo kažejo, da je bilo približno 18% stanovanj zgrajenih pred letom 1945, 61% med leti 1946 in 1980, in 21% med leti 1981 in 2000. Obstoječi stanovanjski fond se torej stara. Načela trajnostnega razvoja, ki se danes vse bolj uveljavljajo tudi v gradbeništvu, dajejo prednost sanaciji obstoječega stanovanjskega fonda in ne njeni porušitvi in novogradnji. Pomen obnove gradbenih objektov se torej povečuje, pri čemer se je potrebno zavedati, da se mora z obnovo izboljšati tako konstrukcijska varnost, funkcionalnost ter videz, kakor tudi energetska učinkovitost stavbe.

Ker so številne raziskave pokazale, da je dotrajanje ovojev največji vzrok propadanja objektov, jim bo pri obnovi potrebno zato posvetiti največjo pozornost. Ovoji objektov, zgrajenih v omenjenem obdobju, pogosto niso kos stalni rasti življenjskih standardov in nadgrajevanju gradbenih predpisov. Najbolj pogosto ponavljajoči problemi teh ovojev so povezani z nezadostno toplotno izolacijo, neprimerno protipotresno konstrukcijsko odpornostjo in neprimernim detajliranjem strukture samega ovoja.

Če se bodo funkcionalne, estetske in varnostne zahteve še povečale, bo potrebno za obnovo teh ovojev razviti sistematične pristope. Prvi sistemski korak je bil že narejen leta 2003, ko je bil sprejet novi stanovanjski zakon, ki je postavil pravne osnove za bolj učinkovito upravljanje s obstoječim stanovanjskim fondom.

Na nivoju posameznega objekta, pa je potrebno za uspešno obnovo, ki vodi h kar največji izpolnitvi zahtev uporabnika ob omejenih finančnih sredstvih, uporabiti racionalne metode za izbiro obnovitvenih ukrepov. V tej diplomski nalogi smo predstavili optimizacijsko metodo, ki lahko investitorju in projektantu pomaga pri odločanju o izbiri najoptimalnejšega nabora možnih ukrepov obnove pri danem finančnem vložku. Metoda temelji na večkriterijski odločitveni analizi, v kateri lahko s pomočjo uporabe metode nahrbtnika optimiziramo izbiro niza ukrepov z upoštevanjem finančne omejitve investicije.

Uporabnost izdelanega računalniškega orodja, ki upošteva kot kriterije funkcionalnost, okoljevarstvenost in estetiko, smo preverili na primeru obnove večstanovanjske stavbe. Rezultat izdelanega programa je niz ukrepov in s tem nizom povezana skupna dosežena korist. Orodje je enostavno in hitro za uporabo. Izdelani program smo uporabili za študij dobljene skupne koristi pri različnih razmerjih pomembnosti posameznih kriterijev in pri spreminjajočem se finančnemu vložku.

Pri tem smo prišli do sledečih ugotovitev:

- metoda nahrbtnika je najuspešnejša pri velikem številu ukrepov obnove,
- pravilno in skrbno moramo zastaviti vse omejitve,
- uspešnost metode je zelo odvisna od izbire kriterijev in natančnosti ovrednotenja (ocen) ukrepov, glede na izbrane kriterije,
- večje število enakih ocen znotraj ene skupine ukrepov povzroči večje število rešitev,
- investitor mora jasno definirati relativno pomembnost posameznih kriterijev (kombinacijo ponderjev), kar bo olajšalo končno izbiro.

Slabost metode (če lahko sploh to vzamemo za slabost) je, da ne obstaja splošen obrazec ali model, ki bi veljal za vse možne primere. Inženir je primoran vsak primer posamezno zmodelirati, kar po eni strani vzame nekaj časa, po drugi strani pa se tako še bolj poglobi v sam problem.

Rezultati kažejo, da skupna dosežena korist z rastjo finančnega vložka raste, izvedena analiza občutljivosti pa nam kaže, kako občutljiva je dobljena rešitev (nabor ukrepov) na spremembo relativnega vrednotenja posameznega ukrepa. Poudariti namreč velja, da je relativno vrednotenje ukrepov, uporabljeno v temu diplomskemu delu, prva ocena. Nadalje se je potrebno zavedati, da je vrednotenje posameznega ukrepa zlasti glede na funkcionalni in estetski kriterij precej subjektiven proces, dobljena rešitev pa je od tega vrednotenja močno odvisna.

Natančna študija odvisnosti emisij škodljivih plinov od kakovosti vgrajenih izolacijskih materialov bi izboljšala natančnost ovrednotenja okoljskih ocen vseh ukrepov in bi izničila subjektivnost ocenjevanja. Ker lahko funkcionalnost posameznih ukrepov določimo s

pomočjo postavk, navedenih v poglavju 4.1, bi bil najboljši način ustanovitev strokovnega tima, katerega bi sestavljali izkušeni strokovnjaki različnih področij. Povprečne strokovne ocene zelo izboljšajo kvaliteto ocenjevanja. Ob ustrezni podatkovni bazi možnih ukrepov, poznavanju medsebojne kompatibilnosti posameznih ukrepov ter njihovemu ustreznemu relativnemu vrednotenju (glede na posamezne kriterije) je lahko predstavljen model učinkovito orodje, ki pomaga odločevalcu (investitorju ali projektantu), da za možni finančni vložek dobi optimalen nabor ukrepov obnove, ki rezultirajo v največji možni skupni koristi za uporabnika ali investitorja.

VIRI

Uporabljeni 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.

Deleži vrednosti opravljenih gradbenih del po tipu gradbene aktivnosti = Share of value of construction put in place by type of activity. Statistične informacije avgust 2004-avgust 2005. 2005. Ljubljana, Statistični urad Republike Slovenije: str. 3.

Construction product directive 1988. European Community Council 89/106/EWG.

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

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.

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

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

Načela trajnostnega razvoja, <http://cic.vtt.fi/eco/cibw82/A2.htm> (2.9.2005).

Our common future 1987, Oxford, Oxford Press.

Mljač M. 2006. *Hiša je hiša. Odnosi v njej so novi. Delo-Sobotna priloga* (7.1.2006).

Praznik, M., *Izbor ustrezne toplotne zaščite za stanovanjske objekte*, <http://www.gi-zrmk.si/ensvet.htm> (5.5.2005).

Rajkovič V., *Modeli in odločitveni sistemi*, <http://lopes1.fov.uni-mb.si> (5.5.2005).

Rodošek E. 1998. *Osnove organizacije v gradbeništvu*. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: str. 185.

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

Smrekar P., 2006. Cene ukrepov sanacije. MAKRO 5 GRADNJE.

Sousa, A., 2005. Osebna komunikacija.

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

Število in površina dokončanih stanovanj, pridobljenih z novogradnjo, prenovo ali adaptacijo glede na vrsto investitorja, po Sloveniji = Number and useful floor area of newly built, improved or adapted dwellings by type of investor, by municipalities of Slovenia. Statistične informacije 1996-2004, 1996-2004. Ljubljana, Statistični urad Republike Slovenije: 3 str..

Zapusekrozman lisbon strategy and sustainable development,
http://www.sidip.org/SIDIP_files/Documents/research/budapest2006 (17.2.2006).

Žarnić, R., Šijanec-Zavrl, M., Šelih, J. 2003. Envelopes of multi-storey residential buildings in Slovenia,. V: *COST C16, Delft, :str.8* .

Ostali viri

Bovcon E., Uporaba metode vrednotenja stroškov življenjskega cikla (LCC) pri prenovi stavb. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. 69 str..

CO₂ Emissions Calculator, <http://www.originenergy.com.au/environment/environment.php> (3.11.2005).

Matelič G., Metoda analize življenjskega cikla (LCA) kot metoda za odločanje v gradbeni proizvodnji. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. 110 str..

PRILOGA F: REŠITVE PRI NEOMEJENI FINANČNI OMEJITVI

ni omejitve Oznaka ukrepa	Izbrane variante (1: izbrana opcija)													
	100/0/0		0/100/0		0/0/100		0/50/50		50/0/50		50/50/0		33/33/33	
1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	1	1
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
4	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	0
5	0	1	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0
7	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
9	1	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0
10	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	1	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1
15	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
18	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1
19	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
21	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
22	0	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
24	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1
25	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
26	0	1	1	1	0	0	1	1	0	0	1	1	1	1
27	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
28	1	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0
29	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
30	0	0	0	0	1	1	0	0	1	1	0	0	0	0
31	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
32	1	1	0	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1
33	0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0