

*Univerza
v Ljubljani*



*Fakulteta za
gradbeništvo
in geodezijo*

Kandidat:

MATEJ KUŠAR

**Razvoj večkriterijskega odločitvenega modela za izbiro
ukrepov pri obnovi stavb**

Magistrsko delo

Ljubljana, 2009

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **MATEJ KUŠAR** izjavljam, da sem avtor magistrskega dela z naslovom:
**»RAZVOJ VEČKRITERIJSKEGA ODLOČITVENEGA MODELA ZA IZBIRO
UKREPOV PRI OBNOVI STAVB«.**

Ljubljana, 6. junij 2009

Podpis:

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN

| | |
|-------------------------|---|
| UDK: | 65.012.2:69.059.25.003(043.3) |
| Avtor: | Matej Kušar |
| Mentor: | doc. dr. Jana Šelih |
| Somentor: | izr. prof. dr. Maruška Šubic Kovač |
| Naslov: | Razvoj večkriterijskega odločitvenega modela za izbiro ukrepov pri obnovi stavb |
| Obseg in oprema: | 145 str., 15 preg., 22 sl., 35 en. |
| Ključne besede: | večkriterijski odločitveni model, obnova stavb, analiza stroškov in koristi, analiza življenjskih stroškov, izboljšanje potresne varnosti, investicijski stroški |

IZVLEČEK

Med uporabo se stavbam nivo obnašanja, ki odraža stopnjo njihove uporabnosti, zanesljivosti in funkcionalnosti, spreminja. Če stavbe ne vzdržujemo in obnavljamo, se nivo obnašanja s časom zmanjšuje. Možni obnovitveni posegi na posamezni stavbi, ki nivo obnašanja zvišajo, se lahko razlikujejo tako po vrsti kot po obsegu, zato je pri njihovi izbiri oz. odločanju potrebno uporabljati racionalne pristope. Dosedanji predlogi odločitvenih modelov večinoma temeljijo na enokriterijskih modelih, ki niso mogli dati celovite slike o stanju obravnavanih stavb in z njimi povezanimi potrebnimi ukrepi.

Magistrska naloga identificira ključne kriterije pri izbiri ukrepov obnove ter jih povezuje v celovit odločitveni model. Z njim je pri odločitvi za obnovo posamezne stavbe prvič na voljo orodje, ki zajema vse vidike obnove in nam s tem predloži, vsaj s stališča stroškov in koristi, optimalno rešitev. Pri tem se model omejuje na stavbe, ki so v javni lasti. Ključni kriteriji so potresna varnost stavbe, življenjski stroški stavbe ter stroški investicije obnove. Naloga identificira, predstavlja in podrobno obravnava tiste dejavnike, ki vplivajo na izbor najboljše rešitve pri vseh tipih gradbenih objektov, ne le pri izbrani skupini objektov. Uporabo modela predstavljamo na izbranem primeru šole.

Razviti večkriterijski odločitveni model lahko obravnava sicer le določene tipe stavb, vendar tvori primerno osnovo za razvoj sorodnih modelov, ki bodo lahko obravnavali tudi druge tipe gradbenih objektov.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 65.012.2:69.059.25.003(043.3)
Author: Matej Kušar
Supervisor: doc. dr. Jana Šelih
Co-supervisor: izr. prof. dr. Maruška Šubic Kovač
Title: Development of multi-criteria decision model for the selection of actions in building reconstruction
Notes: 145 pages, 15 tables, 22 figures, 35 equations
Key words: multi-criteria decision model, building reconstruction, cost-benefit analysis, life cycle cost analysis, earthquake safety improvement, investment costs

ABSTRACT

In the field of the renewal of buildings the research of decision support tools has so far largely been focused on the different models of single criteria decision-making. These models did not provide a full picture of the state of the buildings and the necessary renewal measures.

The thesis combines the most important criteria into one multicriteria decision model. Renewal costs, life cycle costs and benefits related to improved earthquake resistance are considered. The developed tool allows/enables us to cover all aspects of renewal of buildings and, at least from the standpoint of costs and benefits, submit the optimal solution. At the same time, the task of the thesis is to identify and present in detail all factors influencing the selection of the best solutions for all types of construction works and not only for the selected group of buildings.

The developed multicriteria decision model can only be applied to certain types of buildings, but forms a good basis for the development of new models that will be used for other types of construction works.

ZAHVALA

Za moralno podporo in vso razumevanje, ki ga je izkazala tekom študija, se zahvaljujem ženi Jelki.

Za strokovno pomoč ter vodenje pri nastajanju in oblikovanju magistrskega dela se zahvaljujem svoji mentorici doc. dr. Jani Šelih in somentorici izr. prof. dr. Maruški Šubic Kovač.

Zahvaljujem se vsem sodelavcem iz Gradbenega inštituta ZRMK d.o.o., ki so mi v prvih letih zaposlitve dali neprecenljivo znanje in delili svoje izkušnje, s pomočjo katerih sem dobil tudi idejo za temo in vsebino dela. Med njimi gre posebna zahvala Jožetu, Mišotu in Nives.

KAZALO VSEBINE

| | |
|---|-----|
| IZJAVA O AVTORSTVU..... | II |
| BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN..... | III |
| BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION | IV |
| 1 UVOD | 1 |
| 1.1 Predstavitev problema..... | 1 |
| 1.2 Namen magistrskega dela | 2 |
| 1.3 Metoda dela..... | 3 |
| 2 MODEL ODLOČANJA | 5 |
| 2.1 Pregled obstoječih modelov odločanja | 5 |
| 2.1.1 Enokriterijski model odločanja | 6 |
| 2.1.2 Večkriterijski model odločanja | 7 |
| 2.2 Razvoj modela..... | 13 |
| 2.2.1 Izhodišča in omejitve | 13 |
| 2.2.2 Variantne rešitve | 15 |
| 2.2.3 Identifikacija kriterijev..... | 15 |
| 2.2.4 Izbrani večkriterijski odločitveni model | 20 |
| 3 ANALIZA STROŠKOV IN KORISTI..... | 22 |
| 3.1 Definicija in pregled literature | 22 |
| 3.2 Stroški | 24 |
| 3.2.1 Vrste stroškov | 24 |
| 3.2.2 Stroški v obravnavanem odločitvenem modelu | 25 |
| 3.3 Koristi..... | 26 |
| 3.3.1 Vrste koristi..... | 26 |
| 3.3.2 Koristi v obravnavanem odločitvenem modelu | 27 |
| 3.4 Pretvorba stroškov v prihodnosti na tekoče stroške..... | 28 |
| 3.5 Diskontna stopnja..... | 30 |
| 3.5.1 Določanje finančne diskontne stopnje | 30 |
| 3.5.2 Določanje družbene diskontne stopnje | 31 |
| 3.5.3 Upoštevana družbena diskontna stopnja..... | 32 |
| 3.6 Vnos podatkov v analizo stroškov in koristi..... | 33 |

| | | |
|-------|--|----|
| 4 | ANALIZA ŽIVLJENJSKIH STROŠKOV | 36 |
| 4.1 | Definicija in pregled literature..... | 36 |
| 4.2 | Življenjski cikel stavbe in skupni stroški | 38 |
| 4.3 | Načini klasifikacije življenjskih stroškov..... | 41 |
| 4.3.1 | Upoštevani življenjski stroški v sklopu predlaganega modela..... | 43 |
| 4.4 | Potrebni podatki za analizo..... | 45 |
| 4.5 | Razpoložljiva programska oprema za analizo letnih stroškov | 45 |
| 4.5.1 | Program LCProfit | 46 |
| 4.6 | Vnos rezultatov analize življenjskih stroškov v analizo stroškov in koristi..... | 49 |
| 5 | TVEGANJA | 50 |
| 5.1 | Definicija in opredelitev | 50 |
| 5.2 | Model tveganja | 51 |
| 5.3 | Tehnike za kvantifikacijo tveganja..... | 52 |
| 5.4 | Odziv na tveganje | 54 |
| 6 | ANALIZA STROŠKOV IZBOLJŠANJA POTRESNE VARNOSTI | 56 |
| 6.1 | Pregled literature s področja analize stroškov in koristi izboljšanja potresne varnosti..... | 56 |
| 6.1.1 | Metodologija agencije FEMA | 57 |
| 6.2 | Določanje potresne odpornosti stavbe..... | 65 |
| 6.2.1 | Metode s hitrim ogledom..... | 65 |
| 6.2.2 | Enostavne računske metode..... | 70 |
| 6.2.3 | Natančnejše računske metode..... | 71 |
| 6.3 | Zahtevana potresna odpornost stavbe in upoštevani kriterij | 75 |
| 6.4 | Ocena škode v odvisnosti od potresne odpornosti stavbe in projektnega pospeška temeljnih tal..... | 77 |
| 6.4.1 | Določanje vrednosti neposredne potresne škode..... | 78 |
| 6.4.2 | Določanje vrednosti posredne potresne škode..... | 80 |
| 6.5 | Izračun potresnega tveganja | 81 |
| 6.5.1 | Postopek | 81 |
| 6.5.2 | Potrebni podatki..... | 82 |
| 6.5.3 | Izračun in vnos analize stroškov izboljšanja potresne varnosti v analizo stroškov in koristi | 85 |

| | | |
|-------|--|-----|
| 7 | NEAMORTIZIRAN DEL PREDVIDENIH INVESTICIJSKIH STROŠKOV | 89 |
| 7.1 | Izbira primerne metode vrednotenja | 89 |
| 7.2 | Amortizacija vgrajenih elementov | 90 |
| 7.3 | Določitev celotne dobe koristnosti vgrajenih elementov | 92 |
| 7.4 | Izračun neamortiziranih investicijskih stroškov | 95 |
| 7.5 | Vnos vrednosti v analizo stroškov in koristi | 96 |
| 8 | RAČUNSKI PRIMER | 97 |
| 8.1 | Predstavitev problema in cilj analize | 97 |
| 8.2 | Opis stanja stavbe..... | 97 |
| 8.3 | Opis variantnih rešitev in vrednost investicij..... | 99 |
| 8.4 | Določanje vrednosti posameznim kriterijem | 103 |
| 8.4.1 | Analiza življenjskih stroškov | 103 |
| 8.4.2 | Analiza stroškov izboljšanja potresne varnosti..... | 105 |
| 8.4.3 | Neamortizirani investicijski stroški | 108 |
| 8.5 | Končna primerjava variantnih rešitev | 111 |
| 8.6 | Ugotovitve in komentar rezultatov | 114 |
| 9 | ZAKLJUČKI..... | 117 |
| 9.1 | Ugotovitve..... | 117 |
| 9.2 | Uporaba v praksi | 118 |
| 9.3 | Smernice za nadaljnji razvoj | 119 |

KAZALO SLIK

| | |
|--|----|
| Slika 1: Vpliv investicijskega vzdrževanja na nivo obnašanja objekta..... | 1 |
| Slika 2: Večkriterijski odločitveni model (Bohanec, 2006) | 8 |
| Slika 3: Metoda MAUT za primer izbire najema stanovanja v odvisnosti od njegove oddaljenosti od službe | 10 |
| Slika 4: Ogrodje modela za odločanje (Vanier in Lounis, 2006) | 12 |
| Slika 5: Večkriterijski model odločanja za primerjavo različnih rešitev pri obnovi stavb..... | 21 |
| Slika 6: Diskontiranje vseh stroškov na neto sedanjo vrednost (Gundersen, 1998) | 29 |
| Slika 7: Življenjski cikel objekta (Pšunder, 2004) | 39 |
| Slika 8: Skupni stroški v življenjski dobi objekta (I. Pšunder, 2004) | 39 |
| Slika 9: Klasifikacija življenjskih stroškov objekta na Finskem (Pulakka, 1999) | 41 |
| Slika 10: Klasifikacija življenjskih stroškov Ameriškega društva inženirjev (Barringer, 1996, cit. po SAE, 1995) | 42 |
| Slika 11: Klasifikacija življenjskih stroškov za izbrani model odločanja..... | 45 |
| Slika 12: Sestava programa | 46 |
| Slika 13: Čelna stran programa | 46 |
| Slika 14: List namenjen vnosu predpostavk (program LCProfit)..... | 48 |
| Slika 15: Prikaz stroškov vzdrževanja (program LCProfit) | 48 |
| Slika 16: Osnovni model tveganja (Slana, 2006) | 51 |
| Slika 17: Priporočljivi odzivi tveganja glede na stopnjo tveganja in stroške v primerjavi s koristmi (Burke, 1999) | 55 |
| Slika 18: Obrazec za ameriško metodo s hitrim ogledom ATC-21 (FEMA)..... | 67 |
| Slika 19: Obrazec za novozelandsko metodo s hitrim ogledom..... | 69 |
| Slika 20: Karta projektnih pospeškov temeljnih tal s povratno dobo 500 let..... | 83 |
| Slika 21: Karta projektnih pospeškov temeljnih tal s povratno dobo 1000 let..... | 84 |
| Slika 22: Osnovna šola Tomišelj – severna fasada..... | 98 |

LIST OF FIGURES

| | |
|--|----|
| Figure 1: The impact of the investment upon the performance level of the facility..... | 1 |
| Figure 2: Multi-criteria decision model (Bohanec, 2006)..... | 8 |
| Figure 3: MAUT method, example of selecting a dwelling, depending on the distance from the workplace | 10 |
| Figure 4: Framework for decision making (Vanier and Lounis, 2006) | 12 |
| Figure 5: Multi-criteria decision model for comparing different solutions in the reconstruction of buildings | 21 |
| Figure 6: Discounting costs to the net present value (Gundersen, 1998) | 29 |
| Figure 7: Life cycle of facility (Pšunder, 2004)..... | 39 |
| Figure 8: Total costs in the life time of facility..... | 39 |
| Figure 9: Life cycle cost classification in Finland (Pulakka, 1999)..... | 41 |
| Figure 10: Life cycle cost classification of the American society of engineers (Barringer, 1996, quote SAE, 1995)..... | 42 |
| Figure 11: Life cycle cost classification for the selected decision-making model | 45 |
| Figure 12: Program content..... | 46 |
| Figure 13: Front page of the program | 46 |
| Figure 14: Page for introducing assumptions (Program LCProfit)..... | 48 |
| Figure 15: View of maintenance costs (program LCProfit) | 48 |
| Figure 16: Basic risk model (Slana, 2006)..... | 51 |
| Figure 17: Recommended responses to risk with respect to the degree of risk and costs in comparison to the benefits (Burke, 1999)..... | 55 |
| Figure 18: American form of rapid visual screening ATC-21 (FEMA)..... | 67 |
| Figure 19: New Zealand form of rapid visual screening | 69 |
| Figure 20: Map of pick ground acceleration with the return period of 500 years | 83 |
| Figure 21: Map of pick ground acceleration with the return period of 1000 years | 84 |
| Figure 22: Primary School Tomišelj – northern facade | 98 |

KAZALO PREGLEDNIC

| | |
|--|-----|
| Preglednica 1: Primer možnih kriterijev pri določanju prioritete objekta za obnovo | 6 |
| Preglednica 2: Metoda AHP za primer izbire najema stanovanja v odvisnosti od njegove oddaljenosti od službe | 11 |
| Preglednica 3: Primer pričakovanih letnih koristi zaradi konstrukcijske ojačitve stavbe (Boylu, 2005)..... | 63 |
| Preglednica 4: Primer končnega rezultata analize stroškov in koristi za posamezno stavbo (Boylu, 2005)..... | 64 |
| Preglednica 5: Razlaga kratic na obrazcu ATC-21 (FEMA)..... | 68 |
| Preglednica 6: Ocena neposredne škode kamnitih, zidanih in betonskih stavb v odvisnosti od projektnih pospeškov tal (a_g) in potresne odpornosti stavb (SRC) | 79 |
| Preglednica 7: Celotne dobe koristnosti za posamezne konstrukcijske elemente (Pravilnik o standardih vzdrževanja stanovanjskih stavb in stanovanj, UL RS št. 20/2004)..... | 94 |
| Preglednica 8: Vrednosti investicij posameznih variantnih rešitev..... | 101 |
| Preglednica 9: Neto sedanja vrednost življenjskih stroškov stavbe za obdobje 15 let, dobljeni s programom LCProfit | 105 |
| Preglednica 10: Rezultati računa potresne odpornosti stavbe za obstoječe stanje in stanje po morebitni sanaciji, izdelano s pomočjo programa SREMB | 106 |
| Preglednica 11: Rezultati izračuna neto sedanje vrednosti stavbe z vidika potresnega tveganja | 107 |
| Preglednica 12: Vrednost vgrajenih elementov v zadnjem letu analize..... | 109 |
| Preglednica 13: Neto sedanja vrednost vgrajenih elementov po 15 letih..... | 110 |
| Preglednica 14: Stroški in koristi po posameznih variantnih rešitvah..... | 111 |
| Preglednica 15: Neto sedanja vrednost posamezne variantne rešitve | 114 |

LIST OF TABLES

| | |
|---|-----|
| Table 1: Possible criteria in priority determination for the reconstruction of the building | 6 |
| Table 2: AHP method, example of selecting a dwelling, depending on the distance from the workplace | 11 |
| Table 3: An example of expected annual benefits from structural reinforcements (Boylu, 2005) | 63 |
| Table 4: An example of the final outcome of a cost-benefit analysis for a selected building (Boylu, 2005) | 64 |
| Table 5: Explanation of abbreviations on the form ATC-21 (FEMA) | 68 |
| Table 6: The assessment of direct damage to buildings, depending on the pick ground acceleration (a_g) and the seismic resistance of buildings (SRC)..... | 79 |
| Table 7: Life span of individual structural elements (rules on standards of maintenance of residential buildings and dwellings, UL RS, no. 20/2004) | 94 |
| Table 8: Investment value of each variant solution | 101 |
| Table 9: Net present value of life cycle costs for a period of 15 years, obtained by LCProfit | 105 |
| Table 10: Results of seismic resistance of the facility for the status quo and after rehabilitation, made with SREMB program | 106 |
| Table 11: Net present value of the facility in terms of earthquake risk | 107 |
| Table 12: Value of built-in elements in the last year of analysis | 109 |
| Table 13: Net present value of built-in elements after 15 years | 110 |
| Table 14: Costs and benefits of each variant solution | 111 |
| Table 15: Net present value of each variant solution..... | 114 |

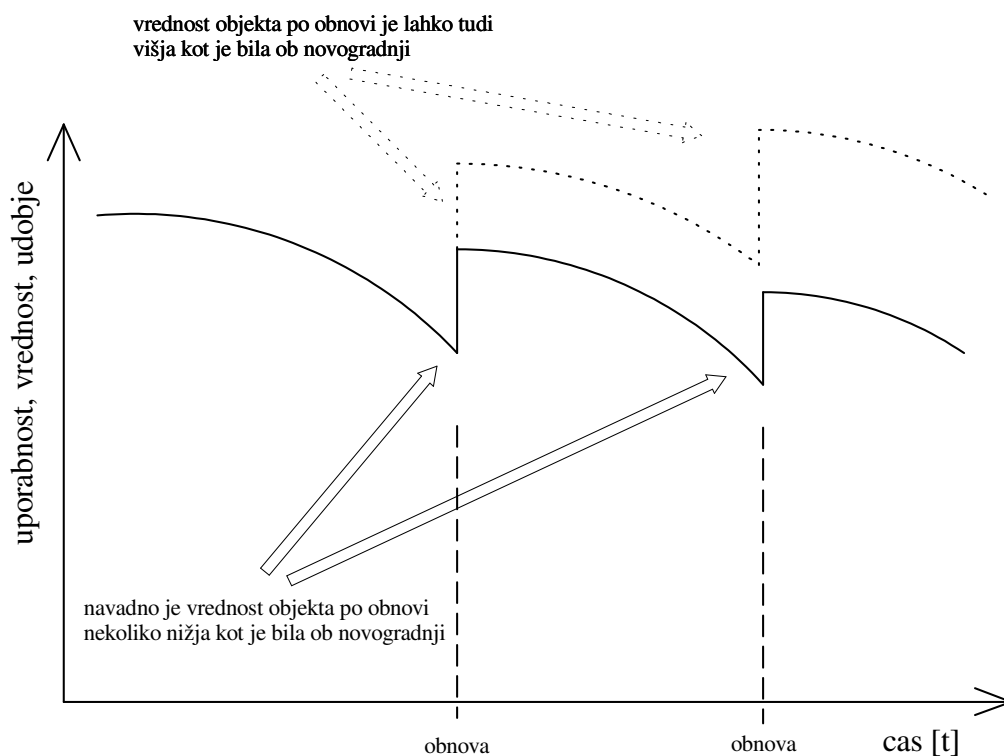
KAZALO OKRAJŠAV

| | |
|------|--|
| AHP | analitično hierarhična metoda |
| ASA | ameriško društvo cenilcev |
| BDP | bruto domači proizvod |
| BSC | koeficient zahtevane potresne odpornosti |
| CBA | analiza stroškov in koristi |
| CDK | celotna doba koristnosti |
| DS | dejanska starost |
| EC6 | Eurocode 6 |
| EC8 | Eurocode 8 |
| FEMA | ameriška zvezna agencija za upravljanje z naravnimi nesrečami |
| LCC | življenjski stroški |
| LCCA | analiza življenjskih stroškov |
| MAUT | metoda večparameterske koristnosti |
| MMI | modificirana Mercallijeva lestvica |
| MOO | metoda večkriterijske optimizacije |
| MRS | mednarodni računovodski standard |
| MSOV | mednarodni standard ocenjevanja vrednosti |
| NIST | ameriški nacionalni inštitut za standardizacijo in tehnologijo |
| NPV | neto sedanja vrednost |
| SRC | koeficient potresne odpornosti |
| SRS | slovenski računovodski standard |

1 UVOD

1.1 Predstavitev problema

Velika večina gradbenih objektov je grajenih z namenom, da bi služili svoji funkciji skozi daljše časovno obdobje. To velja za vse tipe objektov od enodružinskih hiš, blokov, šol, bolnišnic, poslovnih in industrijskih objektov, do cest in železnic ter z njimi povezanih mostov ter viaduktov. Vsi ti in ostali gradbeni objekti morajo služiti svojemu namenu praviloma nepretrgoma. Ne moremo si namreč zamisliti, da bi bila hiša, bolnišnica ali most zaprta denimo vsak mesec po en dan zaradi vzdrževalnih del. Vendar pa se fizično stanje vseh vrst gradbenih objektov počasi slabša. Poleg fizičnega slabšanja objektov moramo upoštevati tudi, da z leti prihajajo v določene tipe objektov nove tehnologije, ki jih je potrebno vanje namestiti (kot so internetne povezave in klimatske naprave), novi standardi varnosti, kvalitete bivanja, energijske učinkovitosti in podobno, objekti pa v svoji osnovi za našteje elemente niso bili projektirani.



Slika 1: Vpliv investicijskega vzdrževanja na nivo obnašanja objekta

Figure 1: The impact of the investment maintenance upon the performance level of the facility

Ko nivo obnašanja oziroma performans posameznega objekta, ki ga merimo na osnovi uporabnosti, zanesljivosti, nosilnosti, udobnosti ali izgleda (odvisno od vrste objekta), pade pod sprejemljivo raven ali pa je njej blizu, je čas za njegovo obnovo. Z ukrepi v sklopu obnove se raven obnašanja objekta zviša za določen nivo in celoten cikel se začne znova (slika 1).

Odločitev za sanacijo posameznega objekta ni vedno smotrna. Nekateri objekti so lahko že preveč poškodovani, druge imamo namen uporabljati le še nekaj let, tretjim bi morali za nadaljnjo uporabo spremeniti namembnost in tako naprej. Kaj je torej za posamezni objekt najbolj smotrno; njegova obnova, rušitev in nadomestna gradnja ali pa morda le redno vzdrževanje do eventualne rušitve objekta čez nekaj let?

1.2 Namen magistrskega dela

Navadno pri vseh vrstah projektov stremimo k optimizaciji, kar pomeni, da poskušamo vložena sredstva (navadno finančna) optimalno izkoristiti oziroma doseči, da imamo pri danem vložku čim večje koristi. Pri mnogo problemih, ki jih srečujemo v vsakdanjem življenju, so optimalne rešitve očitne in včasih tudi splošno znane, v večini ostalih primerov za izbiro najboljše oziroma optimalne rešitve potrebujemo orodja. Za določitev optimalne rešitve pri odločanju o vrsti in obsegu obnove za posamezen objekt tako potrebujemo nek model odločanja, ki mora sloneti na ustreznih objektivnih merilih.

Glavni namen magistrskega dela je zato razviti model odločanja (oziroma vzpostaviti metodologijo), s pomočjo katerega bi lahko na podlagi objektivnih dejavnikov določili najboljšo izmed razpoložljivih rešitev glede vrste in obsega obnove posameznega objekta oziroma njegovi rušitvi in nadomestitvi z novogradnjo. Hkrati bodo v delu predstavljeni in podrobno obravnavani bistveni dejavniki, ki na tako odločitev vplivajo.

Model odločanja mora biti razumljiv in oprijemljiv, hkrati pa zasnovan dovolj splošno, da ga lahko uporabljamo za različne tipe gradbenih objektov z minimalnimi prilagoditvami.

Kljub želji po splošnem modelu se magistrsko delo osredotoča na reševanje opisanega problema za javne stavbe (npr. šole, upravni objekti, študentski domovi, bolnišnice). V teh primerih je njihov lastnik navadno en sam (lokalna skupnost, država), kar poenostavi postopek odločanja, saj se lastnik za izvedbo izbrane rešitve lažje odloči. Tudi cilj lastnikov je večinoma enak: pri omejenih stroških imeti čim večje koristi. Višja vrednost stavb na trgu nepremičnin zaradi izvedene obnove omenjenih lastnikov načeloma ne zanima, saj te praviloma ne gredo v prodajo. Pri stavbah z večjim številom lastnikov (stanovanjski bloki) pa navadno glavni dejavnik ni izbira optimalne rešitve, ki bi pri določenih stroških dala čim večje koristi, temveč želje in tudi finančne zmožnosti posameznih stanovalcev, ki pa so si navadno precej različne. Na papirju najboljša rešitev se tako v teh primerih izvede le redko.

Glede na zgoraj napisano je najbolje, da razvoj odločitvenega modela temelji na analizi stroškov in koristi (ang. Cost Benefit Analysis – CBA).

1.3 Metoda dela

Magistrsko delo je nastajalo po fazah. V prvi fazi sem tekom dela, ki ga opravljam na Gradbenem inštitutu ZRMK d.o.o.¹, dobil idejo za temo in vsebino dela. Temu so nato sledile naslednje faze, ki so spodaj naštet kronološko:

- študija razpoložljive literature,
- identifikacija kriterijev,
- zasnova modela odločanja,
- določitev način izračuna – analiza,
- verifikacija modela na praktičnem primeru.

Med študijem razpoložljive literature sem prišel do zaključka, da je velika večina odločitvenih modelov na področju sanacijskih posegov v gradbene objekte še vedno enokriterijskih. V odločitvene modele vgrajeni kriteriji so dokaj raznovrstni, prevladujejo pa trije, ki sem jih nato kot ključne vgradil tudi v svoj odločitveni model.

¹ Projektiranje sanacijskih posegov na dotrajanih ali drugače poškodovanih gradbenih objektih.

Temu je sledila faza zasnove modela odločanja. Gre za najobčutljivejšo fazo, saj so od nje neposredno odvisni vsi nadaljnji koraki. Ti bi bili v primeru nepravilne zasnove modela tudi sami napačni. Zasnovi modela je sledila najobširnejša faza, to je določitev način izračuna. V tej fazi sem določil načine izračuna vseh izbranih kriterijev ter način njihove združitve v končni rezultat. Na koncu dela sem svoj model verificiral na izbrani stavbi.

2 MODEL ODLOČANJA

Izbira primerne metodologije odločanja je za opisani problem ključnega pomena. Le dobro preišljen sistem bo namreč lahko iskal rešitve za raznolike tipe stavb (študentski domovi, upravne stavbe, klinike in podobno). Preveč precizen in tog model odločanja bi onemogočal iskanje rešitev za določene tipe stavb, po drugi strani pa lahko preveč posplošen model rezultira v bodisi premalo natančnih bodisi premalo oprijemljivih rezultatih. Kljub naštetim problemom je izdelava modela, ki nam bo pomagal najti optimalen način obnove posamezne stavbe, možna in tudi potrebna.

Določitev optimalne rešitve za posamezen problem izključno na podlagi občutka in izkušenj posameznika – odločevalca, je zaradi velike raznolikosti stavb in možnih posegov vanje praktično nemogoče. Poleg tega ključne osebe, ki primerjajo različne rešitve glede vrste in obsega obnove stavb, odločitve večkrat sprejemajo na podlagi subjektivnih in implicitnih, nejasnih kriterijev. V takih primerih so odločitve večkrat tudi rezultat lobiranja ene izmed vpletenih strani, vendar pa se zaradi neobstoja primernih metod odločanja tega ne da nedvoumno dokazati.

V tem trenutku se po navedbah v nekaterih strokovnih člankov (Vanier in soavt., 2006) pri tovrstnem odločanju v praksi v najboljšem primeru uporabljajo le zelo enostavna orodja pomoči, zato bi primeren model odločanja olajšal marsikatero odločitev.

2.1 Pregled obstoječih modelov odločanja

Pri odločanju glede česar koli so nam na voljo različni modeli odločanja ali druga orodja, ki upoštevajo in razvrščajo kriterije na različne načine. Med različnimi načini odločanja je najenostavnejši enokriterijski model odločanja, kjer se odločamo le na podlagi najpomembnejšega kriterija. Druga možnost je večkriterijski model odločanja, kjer se, kot nam pove že ime, odločamo na podlagi več kriterijev. Danes poznamo že celo množico večkriterijskih načinov odločanja (Bohanec, 2006).

2.1.1 Enokriterijski model odločanja

Enokriterijski model odločanja predstavlja najenostavnejši model odločanja. Kot pove že ime, se tu za izbiro določene rešitve odločimo na podlagi enega samega (navadno najpomembnejšega) kriterija. Pri takšnem modelu predstavlja največji izziv določitev najpomembnejšega kriterija. V preglednici 3 je prikazanih pet objektov ter nekatere njihove značilnosti, na podlagi katerih bi se lahko odločili, kateri objekt je najbolj potreben obnove. Odločiti pa se je potrebno na podlagi enega samega kriterija. Vidimo, da bi bil na podlagi starosti obnove najbolj potreben objekt E, če bi se odločali na podlagi njihovih trenutnih stanj objekt C, najnižji bi bili stroški pri obnovi objekta D, s strani potresne varnosti bi zopet izbrali objekt E, najvišje letne stroške vzdrževanja pa ima objekt B.

Preglednica 1: Primer možnih kriterijev pri določanju prioritete objekta za obnovo

Table 1: Possible criteria in priority determination for the reconstruction of the building

| OBJEKT | MOŽNI KRITERIJI | | | | |
|----------|-----------------|-------------------------|----------------|------------------|-----------------------|
| | starost | trenutno stanje objekta | stroški obnove | potresna varnost | letni stroški objekta |
| | [leta] | [opisno] | [EUR] | [faktor] | [EUR/m ²] |
| A | 30 | povprečno | 50.000 | 0,32 | 17 |
| B | 75 | dobro | 200.000 | 0,21 | 30 |
| C | 50 | slabo | 250.000 | 0,25 | 25 |
| D | 60 | dobro | 350.000 | 0,27 | 12 |
| E | 80 | povprečno | 125.000 | 0,18 | 15 |

Očitno je, da pri enokriterijskem odločanju z določitvijo najpomembnejšega ter s tem avtomatično edinega relevantnega kriterija močno vplivamo na izbiro "najboljše" rešitve (v našem primeru na izbiro objekta, najbolj potrebnega obnove). Na izbiro lahko vplivamo sicer hote ali nehote, navadno pa je rezultat v obeh primerih subjektiven. Iz tega razloga se enokriterijski načini odločanja danes v praksi le redko uporabljajo.

2.1.1.1 Enokriterijski modeli odločanja na področju izbire ukrepov pri obnovi stavb

Kljub zgoraj zapisanemu pregled razpoložljive literature (Boylu, 2005, Dong in soavt., 2005, Ghesquiere in soavt., 2006 in podobno) kaže, da so bile raziskave na področju odločanja pri obnovi stavb do sedaj večinoma usmerjene prav v razvoj različnih enokriterijskih odločitvenih modelov. Pri tem predstavlja jedro večine modelov analiza stroškov in koristi. Kriteriji posameznih odločitvenih modelov so seveda odvisni od želenih ciljev, ki bi jih pri obnovi določene stavbe radi dosegli. Od izbranega kriterija so nato odvisni ukrepi, ki se jih v sklopu obnove posamezne stavbe predpiše. Možnih kriterijev je seveda precej, med drugimi na primer zasledimo primerjavo med porabo energije za ogrevanje nesanirane stavbe ter porabo energije sanirane, ki ji prištejemo še porabo energije, ki je bila potrošena za izdelavo novo vgrajenih gradbenih materialov (Dong in soavt., 2005). Pri konkretnem primeru je kriterij izpust CO₂ v ozračje. Pregled razpoložljive literature kaže, da so za kriterije najpogosteje predlagani:

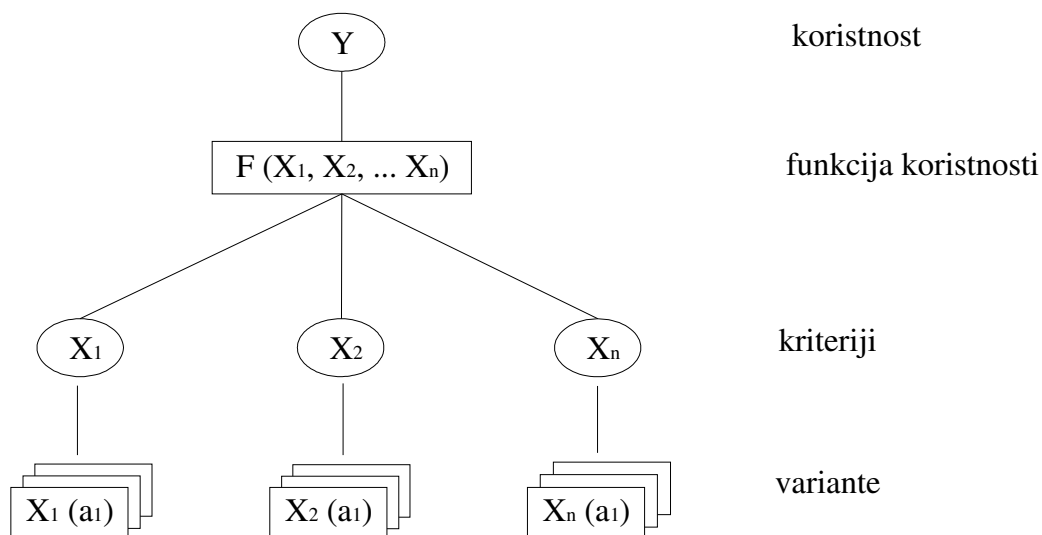
- celotni življenjski stroški stavb (ki obsegajo stroške gradnje in uporabe),
- potresna varnost stavb ter
- vrednost stavb.

2.1.2 Večkriterijski model odločanja

Večkriterijski modeli so na splošno dober pripomoček za podporo odločanja v situacijah, pri katerih nastopa večje število dejavnikov, ki vplivajo na odločitev. Večkriterijsko odločanje temelji na razgradnji odločitvenega problema na manjše in lažje obvladljive elemente. Variantne rešitve razgradimo na posamezne parametre in jih nato ocenimo. Končno oceno posamezne variante dobimo nato z vnaprej opredeljenim postopkom združevanja. Tako izpeljane vrednosti so nato osnova za izbor najustreznejše oziroma najboljše variante.

V procesu večkriterijskega odločanja moramo za posamezen odločitveni problem razviti model, ki bo zagotavljal objektivno vrednotenje variant glede na zastavljene cilje. Model mora temeljiti na izbranem spisku kriterijev, parametrov, spremenljivk in dejavnikov, ki jim v

odločitvenem procesu sledimo. Teorija večkriterijskega odločanja nudi formalno osnovo za izgradnjo modela, ki ocene po posameznih parametrih poveže v skupno oceno. Model mora biti zgrajen logično, njegovi parametri pa morajo biti jasno določljivi.



Slika 2: Večkriterijski odločitveni model (Bohanec, 2006)

Figure 2: Multi-criteria decision model (Bohanec, 2006)

Večkriterijski odločitveni modeli so v splošnem sestavljeni iz treh komponent (slika 2). Vhod v model predstavljajo kriteriji X_i . To so spremenljivke, ki ponazarjajo tiste dejavnike, ki opredeljujejo kvaliteto ali kvantiteto variant. Funkcija koristnosti F je predpis, po katerem se vrednosti posameznih kriterijev združujejo v spremenljivko Y , ki ponazarja končno oceno oziroma koristnost variante. Funkcija koristnosti je pri tem določena za vsak kriterij. Variante opišemo po osnovnih kriterijih z vrednostmi a_i . Na osnovi teh vrednosti funkcija koristnosti določi končno oceno vsake variante. Varianta oziroma rešitev, ki dobi najvišjo oceno, je praviloma najboljša.

V našem primeru bo vrednost za vsak kriterij vsake variante izražena v denarnih enotah, kar pomeni, da bodo funkcije koristnosti za vse kriterije enake, različne pa bodo njihove

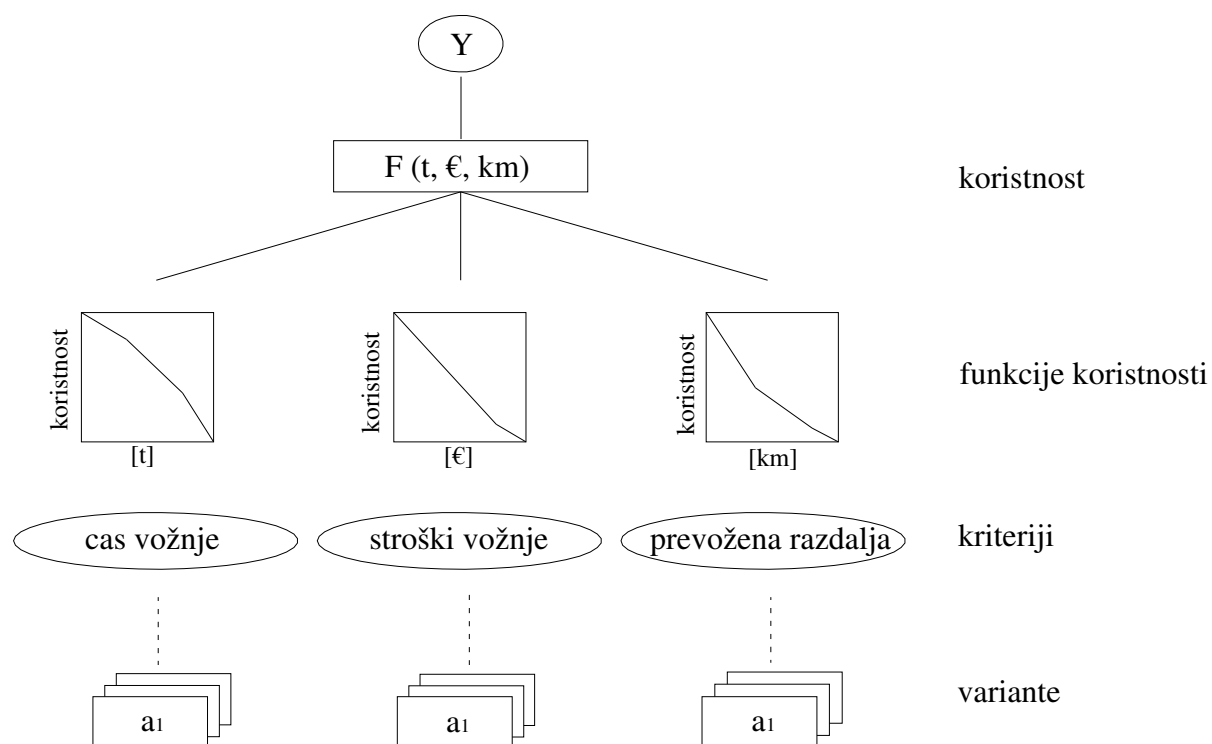
kvantitativne vrednosti. V posebnih okoliščinah sicer lahko posameznemu kriteriju damo tudi bistveno relativno utež kot ostalim (na primer potresna varnost pri izjemno pomembnih objektih kot so jedrske elektrarne), vendar so to le redke izjeme.

2.1.2.1 Pregled nekaterih metod večkriterijskega odločanja

Metod za podporo večkriterijskega odločanja je veliko. Nekatere metode so primerne za preproste odločitvene probleme z majhnim številom parametrov, druge so namenjene najtežjim problemom in so temu primerno tudi zahtevnejše. Med njimi ni metode, ki bi jo lahko označili za najboljšo (Bohanec, 2006).

Prvi in najenostavnejši način večkriterijskega odločanja je, da so pri odločanju vsi kriteriji enako pomembni. Kot optimalno v tem primeru določimo tisto rešitev, ki se kaže kot najprimernejša pri največjem številu kriterijev. Vendar pa kriterije večinoma opredelimo po pomembnosti oziroma z drugimi besedami, damo jim uteži. Najpomembnejši kriterij ima pri tem načinu največjo utež, najmanj pomemben najmanjšo. Postopkov, ki temeljijo na tej teoriji je več, najbolj uporabljeni pa sta analitično hierarhična metoda z utežmi (ang. analytic hierarchy process – AHP) in metoda večparameterske koristnosti (ang. Multi attribute utility theory – MAUT).

Z metodami tipa MAUT se navadno modelira odločitvene probleme, ki imajo tudi več deset parametrov. Pri tem vrednosti osnovnih parametrov izražamo in merimo z realnimi enotami (čas, stroški, razdalja in podobno), zaželenost teh vrednosti za odločevalca pa določimo s funkcijo koristnosti. Funkcije koristnosti lahko pri tem oblikujemo poljubno in v skladu z željami odločevalca (slika 3).



Slika 3: Metoda MAUT za primer izbire najema stanovanja v odvisnosti od njegove oddaljenosti od službe

Figure 3: MAUT method, example of selecting a dwelling, depending on the distance from the workplace

Metoda AHP je ena najbolj znanih metod večkriterijskega odločanja. Pri tej metodi določanje uteži oziroma koristnost posameznega kriterija poteka po metodi primerjave po parih. Uteži dobimo z medsebojno primerjavo parametrov po parih, koristnost alternativ pa po enakem postopku z medsebojno primerjavo alternativ (preglednica 4). Osnovna različica metode AHP omogoča obravnavanje odločitvenih problemov z velikim številom parametrov, vendar le z manjšim številom alternativ. Merjenje osnovnih koristnosti ni potrebno, saj ga AHP nadomešča s primerjavo alternativ po parih, kar razširja uporabnost metode na različne vrste osnovnih parametrov (Bohanec, 2006).

Preglednica 2: Metoda AHP za primer izbire najema stanovanja v odvisnosti od njegove oddaljenosti od službe

Table 2: AHP method, example of selecting a dwelling, depending on the distance from the workplace

| | čas vožnje | stroški vožnje | prevožena razdalja | utež |
|--------------------|------------|----------------|--------------------|--------------|
| čas vožnje | 0,652 | 0,556 | 0,692 | 0,633 |
| stroški vožnje | 0,131 | 0,111 | 0,077 | 0,106 |
| prevožena razdalja | 0,217 | 0,333 | 0,231 | 0,260 |

Za določene projekte je lahko najbolj primerna tudi metoda večkriterijske optimizacije (ang. multi-objective optimization – MOO), ki poizkuša najti optimalno rešitev ob upoštevanju več kriterijev, kot so na primer minimalni stroški, maksimalno izboljšanje, minimalno tveganje. Pri tej metodi je iskanje najboljše rešitve pogosto zelo zapleteno, saj si cilji navadno nasprotujejo, kot na primer minimalni stroški in maksimalno izboljšanje. Podobno kot opisani model so tudi številni drugi načini odločanja dokaj zapleteni in primerni za reševanje točno določenih problemov.

Na razpolago imamo seveda tudi možnost, da vse kriterije opišemo na enak način, najpogosteje z denarnimi enotami, ki jih nato za posamezno rešitev seštevamo. Funkcija koristnosti F (slika 2) je v tem primeru torej takšna, da se korist izrazi v denarnih enotah, vsi kriteriji pa imajo enako težo.

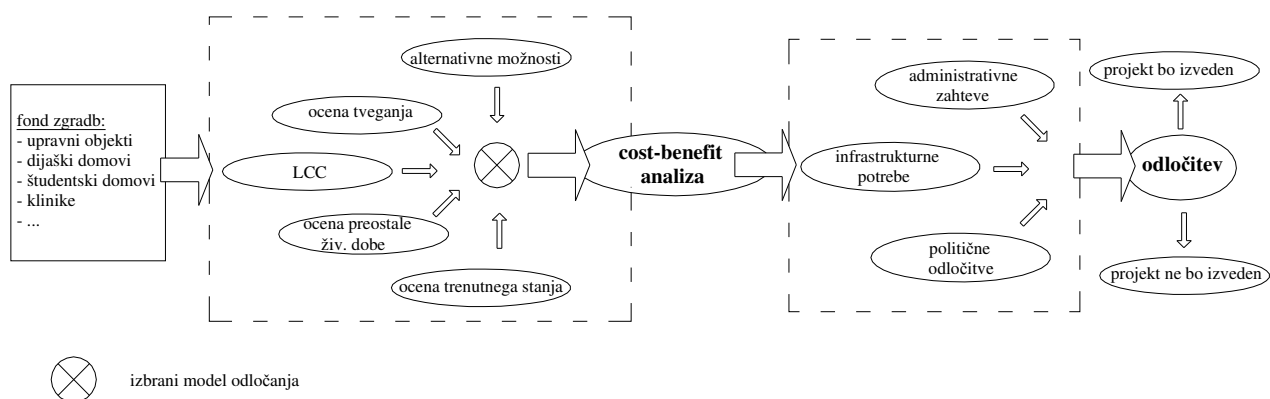
Poznamo še druge modele večkriterijskega odločanja, na tem mestu pa predstavljam le tiste, ki jih v literaturi najpogosteje srečamo. Primernost njihove uporabe je seveda v največji meri odvisna od vrste problema, o katerem odločamo.

Vanier in soavtorji (2006) so razvili model odločanja za upravljanje s fondom gradbenih objektov. Ta model izkazuje največjo primernost za reševanje zastavljenega problema, zato ga bom v nadaljevanju natančneje predstavil.

2.1.2.2 Večkriterijski model odločanja za upravljanje s fondom gradbenih objektov

Na sliki 4 je shematsko prikazano ogrodje modela odločanja za upravljanje s fondom gradbenih objektov (Vainer in soavt., 2006). Gre za ogrodje, ki je bilo v osnovi namenjeno določitvi zgradbe (izmed celotnega fonda zgradb), ki je določenih posegov najbolj potrebna. Model temelji na razmerju vloženih sredstev in zaradi njih dobljenih koristi, kar se določi s pomočjo analize stroškov in koristi. Kot vidimo na sliki 4, upoštevamo v sklopu te analize trenutno stanje objektov, njihovo preostalo življenjsko dobo, celotne življenjske stroške (ang. life cycle costs – LCC) in vsa potencialna tveganja, povezana s posameznim objektom. Pri tem moramo analizirati vse alternative oziroma variante, ki so na razpolago.

Finančno gledano bi se bilo najbolje odločiti za tisto zgradbo, ki ima najboljše razmerje med stroški in koristmi. Vendar pa po izvedbi tovrstne analize pridejo na vrsto še nekateri drugi dejavniki kot so administrativne zahteve, infrastrukturne potrebe in pogosto tudi politične odločitve. Na podlagi analize in vseh ostalih naštetih dejavnikov je nato sprejeta odločitev o pristopu k določenemu projektu ali njegovi zavrnitvi.



Slika 4: Ogrodje modela za odločanje (Vanier in Lounis, 2006)

Figure 4: Framework for decision making (Vanier and Lounis, 2006)

Prvi del ogrodja modela, do vključno analize stroškov in koristi, predstavlja osnovo tudi večkriterijskemu odločitvenemu modelu za izbiro ukrepov pri obnovi stavb, ki ga želim razviti v tem delu.

2.2 Razvoj modela

Magistrsko delo želi določiti najboljše variante kombinacij ukrepov pri obnovi posamezne stavbe. Sistem odločanja, ki je bil kratko opisan ob koncu prejšnjega poglavja, pa je namenjen obravnavanju izbranega fonda oziroma več stavb hkrati. Kljub tej na prvi pogled dokaj veliki razliki, so postopki odločanja za primer obravnavanja enega ali več stavb dokaj podobni, saj gremo s tako vrsto odločitvenega modela skozi celoten postopek za vsako variantno rešitev posebej. Iz tega razloga bo lahko model, ki ga bomo razvili za naše potrebe odločanja, temeljil na modelu, ki so ga razvili Vanier in Lounis (2006).

V okviru dela bo odločitveni model izdelan le do vključno analize stroškov in koristi, saj so nadaljnji dejavniki (administrativne zahteve, politične odločitve) odvisni od okolja ter jih posledično ne moremo ovrednotiti.

2.2.1 Izhodišča in omejitve

Vsaka stavba je unikatna zaradi svojih dimenzij, starosti, potresne odpornosti, lokacije, na kateri stoji in podobno. Iz tega razloga je potrebno za vsako obravnavano stavbo najprej ugotoviti njeno obstoječe stanje, saj to vpliva praktično na vse kriterije, ki jih v sklopu analiziranja nato uporabljamo. Poleg samega stanja stavbe se je potrebno zavedati tudi, da imamo do različnih vrst stavb različne zahteve. Zaradi vseh možnih kombinacij posameznih lastnosti in zahtev lahko za na prvi pogled podobne stavbe dobimo različne rešitve glede predvidenih ukrepov. Iz tega razloga je v fazi načrtovanja obnove potrebno za vsako stavbo razmisliti o vseh razpoložljivih alternativah.

V predlaganem odločitvenem modelu, ki ga opisujem v nadaljevanju dela, bodo lahko obravnavane le stavbe, ki so v javni lasti, zanje pa je med drugim značilno, da praviloma ne gredo v prodajo na prosti trg. Iz tega razloga ni pomembno, kolikšna je njihova tržna vrednost. V primeru upoštevanja tržne vrednosti posamezne nepremičnine bi namreč gotovo prišli do zaključka, da se za stavbe, ki stojijo v urbanih središčih, izplača vlagati neprimerno večja finančna sredstva kot za enake stavbe na podeželju. Tako pa nas iz finančnega vidika zanima predvsem, kolikšni bodo stroški investicijskega vzdrževanja ter rednega vzdrževanja

in upravljanja stavbe skozi celotno dobo, ki jo bo obsegala analiza. Poleg določitve stroškov nas seveda zanima tudi, kolikšni bodo s stroški (predvsem investicijskega vzdrževanja) povezane koristi.

Vrste koristi, ki bi jih stavba lahko bila deležna zaradi določenih investicijskih del, so tri. Prva vrsta koristi je povezana z energetske sanacije stavbe in s tem povezano zmanjšano porabo energije za različne procese. V največji meri gre tu za manjšo porabo energentov za ogrevanje oziroma hlajenje in ventilacijo, poraba energentov pa se lahko zmanjša tudi z izbiro varčnejše vrste razsvetljave ali drugih (sicer za posamezno stavbo specifičnih) delovnih procesov.

Druga vrsta koristi je težje določljiva. Gre za koristi, ki bi jih bili deležni v primeru naravnih nesreč, če bi stavbo še pred njihovim pojavom ustrezno ojačili. Tu moramo oceniti, kolikšna bi bila razlika v škodi med nesanimirano in isto konstrukcijsko ojačano stavbo v primeru naravne nesreče. Razlika v škodi je enaka koristi, ki smo jo deležni zaradi investicije v ojačitev stavbe. Poleg neposredne škode na stavbi lahko na tem mestu upoštevamo tudi posredno škodo, na primer število dni, ko stavba ni uporabna, stroške selitve na drugo lokacijo in tako dalje. Vrednosti izgubljenih človeških življenj ne bomo obravnavali, ker je to, poleg tega da je vrednost skoraj nedoločljiva, predvsem neetično (Myers, 2004).

Poleg že omenjenih koristi je za vsako stavbo potrebno oceniti še, koliko se bo zaradi izvedenih investicijskih ukrepov dvignila njena denarna (vendar ne tržna) vrednost oziroma natančneje kolikšna bo vrednost tako sanirane stavbe po časovnem okviru analize. Vsaka stavba ima namreč, ne glede na svoje stanje, vgrajeno neko vrednost v obliki materiala in opreme, ki jo je v sklopu odločitvenega modela potrebno določiti. Ker bo izbrani model primerjal posamezne rešitve za eno samo stavbo, nam ni potrebno poznati celotne vrednosti stavbe, temveč le razlike v vrednosti stavbe med posameznimi variantnimi rešitvami. Razlike pa bodo odvisne izključno od izbranih investicijskih ukrepov pri posamezni variantni rešitvi, saj je osnovna (obstoječa) vrednost stavbe za vse variantne rešitve enaka.

Zgoraj opisane dejavnike bomo morali v sklopu obravnavanega odločitvenega modela čim bolj natančno upoštevati. To storimo z upoštevanjem oziroma izvedbo naslednjih korakov:

- Za vsako stavbo ugotovimo njeno trenutno stanje.
- Razmislimo o vseh možnih alternativah posegov v stavbo.

- Čim bolj natančno ocenimo vse stroške predvidenih investicijskih ukrepov.
- Čim bolj natančno ocenimo vse stroške vzdrževanja in upravljanja stavbe.
- Čim bolj natančno ocenimo vse koristi, ki nastanejo kot posledica stroškov.
- Ocenimo vrednost stavbe (natančneje preostalo vrednost predvidenih investicijskih ukrepov) po časovnem okviru analize.

Poleg določanja vplivnih dejavnikov moramo pri uporabi predlaganega odločitvenega modela upoštevati še naslednje omejitve:

- Analiziramo le stavbe v javni lasti.
- Tržna vrednost stavbe na nepremičninskem trgu ni pomembna.

2.2.2 Variantne rešitve

Ko se odločamo o nadaljnji usodi kateregakoli tipa stavbe, imamo na razpolago vedno več možnih rešitev. Tako se pri vsaki stavbi lahko odločamo vsaj med naslednjimi temeljnimi variantami (sicer pa tudi posameznimi kombinacijami med njimi):

1. Rušitev in nadomestna gradnja.
2. Celovita sanacija stavbe.
3. Potresna ojačitev stavbe.
4. Energetska sanacija stavbe.
5. Manjša popravila.

Finančno gledano je najbolj ugodna izmed obravnavanih variant tista, pri kateri analiza stroškov in koristi pokaže glede na vložene stroške največje koristi.

2.2.3 Identifikacija kriterijev

Če hočemo z odločitvenim modelom dobiti objektivne in zanesljive rezultate, moramo najprej določiti in kasneje v sklopu analiziranja tudi ovrednotiti vse relevantne kriterije, ki vplivajo na izbiro ukrepov pri obnovi posamezne stavbe. Neupoštevanje kateregakoli izmed takih kriterijev bi avtomatično povzročilo neveljavne rezultate analize.

Skoraj enako škodljivo kot neupoštevanje katerega izmed relevantnih kriterijev pa bi bilo tudi upoštevanje in analiziranje nerelevantnih kriterijev. Ti bi za odločevalca v najboljšem primeru pomenili izgubo časa in slabšo preglednost nad vsemi kriteriji, v nekaterih primerih pa bi gotovo vplivali tudi na končni rezultat analize oziroma odločitvenega procesa.

Ugotovimo lahko, da je natančna in celovita identifikacija relevantnih kriterijev nujna. Posamezne kriterije in razloge za njihovo upoštevanje podajamo v nadaljevanju.

2.2.3.1 Trenutno stanje stavbe

Ocena trenutnega stanja stavbe nam daje za analizo pomembne vhodne informacije v povezavi z ostalimi dejavniki, ki so vključeni v analizo. To so celotni življenjski stroški stavbe, (okoljska) tveganja in preostala vrednost stavbe, ki na koncu vsi vplivajo na izbrano variantno rešitev. Trenutno stanje vsake obravnavane stavbe je zato potrebno oceniti tako celostno kot tudi iz vidika posameznega kriterija celotnega odločitvenega modela. Bolj kot bo natančna ocena trenutnega stanja stavbe, bolj natančna bo celotna analiza.

2.2.3.2 Celotni življenjski stroški

Analiza življenjskih stroškov (ang. Life Cycle Cost Analysis – LCCA) je metoda namenjena ocenjevanju celotnih stroškov lastništva stavbe. Po definiciji upošteva vse stroške pridobitve, lastništva in odstranitve stavbe ali njenega dela. LCCA je še posebej uporabna, kadar med seboj primerjamo alternative, katerih cilj je isti, vendar pa se alternative med seboj razlikujejo po začetnih stroških, stroških tekoče uporabe in vzdrževanja ali drugih stroških. LCCA pomaga pri ugotavljanju, ali je finančno bolj ugodno imeti visoke začetne stroške gradnje ali obnove in kasneje posledično bistveno nižje stroške uporabe in vzdrževanja stavbe, ali pa se je bolje odločiti za standarden sistem gradnje ali obnove stavbe ter posledično imeti izbranemu sistemu primerno višje stroške uporabe in vzdrževanja (National Institute of Standards and Technology – NIST, Fuller, 2005).

Namen analize celotnih življenjskih stroškov v okviru obravnavanega večkriterijskega

odločitvenega modela je oceniti investicijske stroške morebitne energetske sanacije obravnavane stavbe in z navedeno sanacijo povezane koristi, stroške rednega vzdrževanja ter stroške upravljanja oziroma uporabe stavbe za posamezno variantno rešitev.

Rezultat analize življenjskih stroškov bo eden izmed treh kriterijev pri izbiri najboljše variantne rešitve za posamezno stavbo.

2.2.3.3 Tveganja

Tveganje izraža potencialen negativen vpliv nekega dogodka na vrednost (ki jo lahko merimo na različne načine), ki izvira iz realizacije tega dogodka v bodočnosti. Zaradi negativnega vpliva želimo tveganje identificirati in kvalitativno oceniti. Glavna težava je napovedovanje različnih dogodkov v prihodnosti, ki bi lahko oziroma bodo vplivali na rezultat naše analize. Stavbe in vse kar je z njimi neposredno povezano, se namreč načeloma obravnava za dobo 50 let, če nas zanimajo rezultati za krajše obdobje, pa tudi temu primerno manj.

2.2.3.3.1 Vrste tveganj

V splošnem lahko tveganja razdelimo na politična, socialna, ekonomska in okoljska. Bolj natančno pa se tveganja delijo na:

- tveganja pri oceni celotnih življenjskih stroškov,
- tehnična tveganja,
- finančna in ekonomska tveganja,
- tržna tveganja,
- organizacijska tveganja,
- politična tveganja,
- okoljska tveganja,
- druga tveganja. (Slana, 2005)

Pri izvedbi vsake analize lahko upoštevamo bolj ali manj verjetne dogodke, v vsakem primeru

pa moramo oceniti verjetnost njihovega nastopa. V večini primerov je najbolje upoštevati kar najbolj verjeten potek dogodkov, kot je na primer dvig cene energentov v prihodnosti, okvare posameznih elementov stavbe v določenem času in podobno. Bistveno težje je napovedovati na primer gibanje trga nepremičnin, kar je izredno pomembno v primeru, če se investicije lotimo z namenom eventualne prodaje stavbe. Pri tržnih tveganjih so ocene tveganja torej izjemno težavne, podobno pa je tudi pri ocenjevanju političnih in ekonomskih tveganj.

Ker magistrsko delo obravnava stavbe v javni lasti, nas tržna, ekonomska in večinoma tudi politična gibanja skozi leta obstoja stavbe ne zanimajo, saj se te vrste stavb (šole, študentski domovi, bolnišnice in podobno) navadno ne prodajajo, uporabljajo se tudi v času ekonomskih kriz, potrebujejo jih vsak politični sistem in še bi lahko naštevali. Zato se moramo posvetiti le tveganjem v zvezi z določitvijo celotnih življenjskih stroškov stavbe ter okoljskim tveganjem.

Pri oceni celotnih življenjskih stroškov, kot so stroški rednih popravil, tekočega vzdrževanja, ogrevanja stavbe in podobno, je potrebno predvideti najbolj verjeten potek dogodkov skozi življenjsko dobo stavbe. Upoštevanje dogodkov, ki so manj verjetni, kot na primer večje energetske krize in s tem povezanih stroškov ogrevanja ali prepogoste okvare strojev in opreme na stavbi, nas lahko privede do nepravilnega rezultata analize in z njo povezane odločitve. Povsem drugačna pa je situacija pri upoštevanju okoljskih tveganj.

2.2.3.3.2 Okoljska tveganja

Naravne nesreče, ko so hude ujme in potresi niso pogost pojav, kljub temu pa jih je potrebno upoštevati kot skoraj gotove dogodke. Posledice v primeru neupoštevanja okoljskih tveganj so lahko izjemno hude, od velikih materialnih stroškov pa celo do izgube življenj.

Iz tega razloga moramo biti pri oceni okoljskih tveganj bistveno bolj konzervativni, kot pri oceni ostalih vrst tveganj. Upoštevati moramo dejstvo, da lahko v življenjski dobi stavbe pride do hudih neurij, stoletnih poplav, stoletnega potresa, plazov, požarov in podobnega. Vse navedene naravne nesreče oziroma okoljska tveganja lahko bistveno vplivajo mehansko stanje in odpornost stavbe. V magistrskem delu se omejujem na potres, saj je trenutno verjetnost potresa v Sloveniji precej velika. Od zadnjega stoletnega potresa je namreč minilo že več kot 100 let, zato ga statistično gledano na nek način celo pričakujemo.

Neupoštevanje dogodka potresa bi močno vplivalo na celoten sistem odločanja o izbiri najbolj primerne načina obnove stavbe. V tem primeru bi namreč konstrukcijske ojačitve stavb pomenile le strošek brez kakršnihkoli koristi, kar pa seveda ni res. Ojačitve in z njimi povezano povišanje potresne odpornosti je zato ena izmed ključnih točk izbranega odločitvenega modela. Ta kriterij je temeljito obdelan v poglavju 6.

2.2.3.3.3 Določitev kritičnih spremenljivk za obravnavana tveganja

Če hočemo izdelati analizo tveganj, moramo za vsako v sklopu računa upoštevano spremenljivko imeti verjetnostno porazdelitev. Verjetnostna porazdelitev vsake od spremenljivk lahko izhaja iz različnih virov. V skoraj vseh primerih je mogoče iz specializirane literature (statistični povzetki) prikazati verjetnostno porazdelitev podatkov, ki so predstavljeni grafično ali analitično. Tako lahko na primer dobimo podatke o gibanju cen energentov v prihodnosti ali verjetnost dogodka posamezne naravne nesreče.

Za potrese so na razpolago geografske karte, iz katerih lahko za katerokoli področje v Sloveniji razberemo projektne pospeške temeljnih za primere potresa z različnimi povratnimi dobami. Navedene karte nam torej podajo najverjetnejšo porazdelitev pojava potresa določene intentitete.

Druga možnost za ocenjevanje (tako imenovana metoda Delfi) verjetnosti je, da se posvetujemo s skupino strokovnjakov in vsakega od njih posebej prosimo, da za iskane parametre oceni verjetnosti, ki bi jih dodelil izbranemu nizu vrednosti. Zbir ocen nato pošljemo isti skupini strokovnjakov s prošnjo, naj ponovno razmislijo o svoji oceni. Metoda je natančno opredeljena in temelji na strukturiranem toku informacij, povratnih informacij in anonimnosti sodelujočih. Rezultat postopka je skupno mnenje oziroma ocena (vir: www.iit.edu/~it/delphi.html).

2.2.3.4 Vrednost stavbe

Vrednost stavbe je tretji oziroma zadnji izmed parametrov, ki ga v obravnavanem odločitvenem modelu moramo upoštevati. Gre za vrednost stavbe po časovnem okviru

analize. Z drugimi besedami, če analiza zajema in s tem upošteva vse dogodke, povezane z stavbo v dobi 30 let, nas zanima, kolikšna je preostala (finančna) vrednost stavbe za lastnika po teh 30 letih.

Vrednost stavbe ter sam način njenega izračuna je natančneje predstavljen v poglavju 7. Za sedaj naj omenim le, da v sklopu izbranega odločitvenega modela ne ugotavljam vrednosti celotne stavbe, temveč le razlike med vrednostmi stavbe med posameznimi variantnimi rešitvami po časovnem okviru analize. Te so odvisne izključno od izbranih investicijskih ukrepov.

2.2.4 Izbrani večkriterijski odločitveni model

Model odločanja, ki ga predlagam, temelji na ugotovitvah prejšnjih poglavij (izhodišča, omejitve, kriteriji) ter na sistemu odločanja, ki so ga razvili Vanier in soavtorji (2006), zaradi česar mu je dokaj podoben. Pri izbranem večkriterijskem odločitvenem modelu (slika 5), obravnavamo eno samo stavbo. V prvi fazi ugotovimo trenutno stanje obravnavane stavbe in na podlagi stanja stavbe določimo možne načine obnove, to je možne variantne rešitve.

Od te točke dalje iščemo vrednosti izbranih kriterijev za posamezno variantno rešitev. Izbrani kriteriji, kot je prikazano na sliki 5, so:

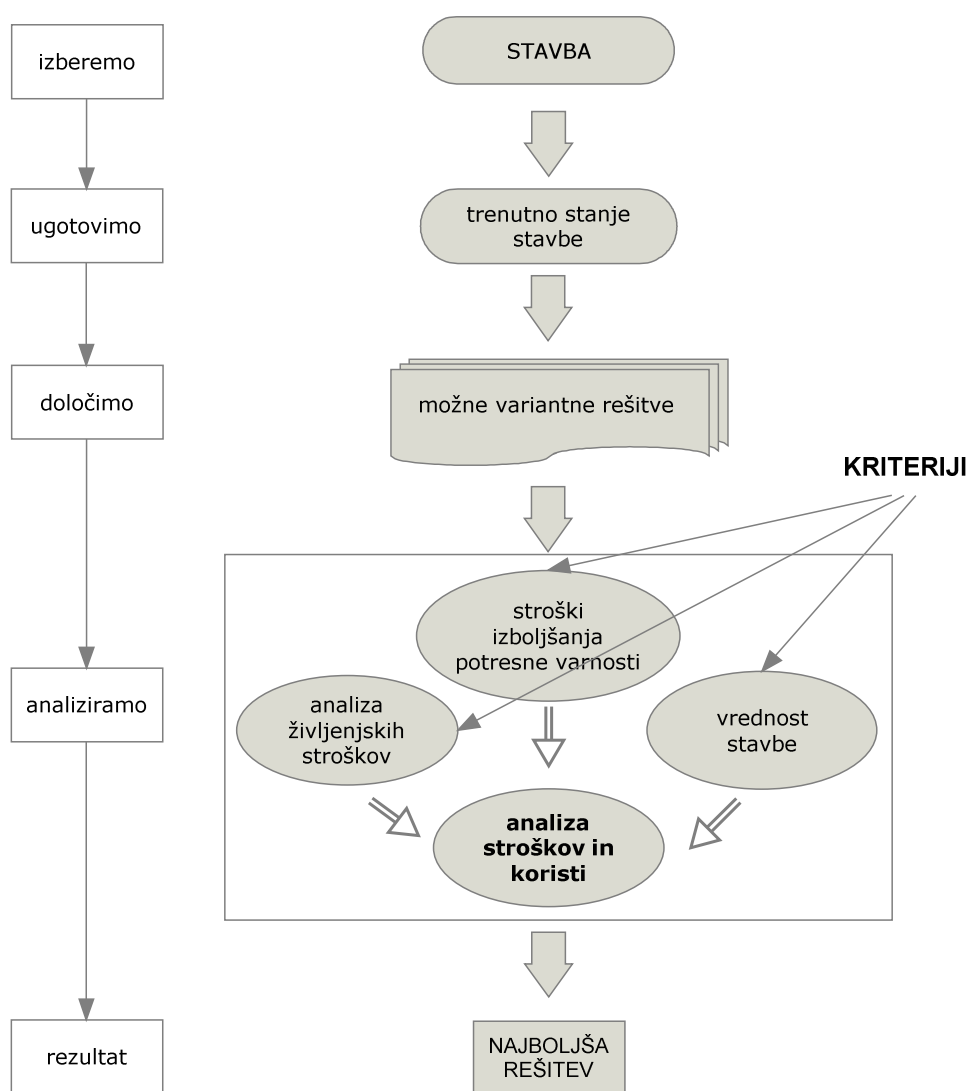
- Stroški in koristi povezani z izboljšanjem potresne varnosti.
- Stroški energetske sanacije stavbe in z njimi povezane koristi ter stroški rednega vzdrževanja in uporabe stavbe¹.
- Vrednost stavbe².

¹ Navedene stroške in koristi obravnavamo v sklopu analize življenjskih stroškov.

² V nadaljevanju naloge pridemo do zaključka, da za potrebe odločitvenega modela ni potrebno izračunati vrednosti stavbe kot celote. Določiti moramo le razlike med vrednostmi stavbe v primeru izvedbe posamezne variantne rešitve, kar je bistveno bolj enostavno. Razlike v vrednostih so odvisne neposredno od investicijskih stroškov, ki jih imamo pri izvedbi posamezne variantne rešitve ter stopnje njihove amortiziranosti ob koncu obravnavane dobe (natančneje predstavljeno v poglavju 7).

Za vsako izmed predlaganih variantnih rešitev določimo vrednosti vseh kriterijev. Izračunane vrednosti v sklopu analize stroškov in koristi najprej diskontiramo, nato pa seštejemo v skupno neto sedanjo vrednost posamezne variantne rešitve. Rešitev, ki ima najvišjo neto sedanjo vrednost (kar dejansko pomeni najbolj ugodno razmerje stroškov in koristi), je izbrana kot najboljša.

Posamezne elemente predlaganega modela bom podrobno predstavil in obravnaval v naslednjih poglavjih.



Slika 5: Večkriterijski model odločanja za primerjavo različnih rešitev pri obnovi stavb

Figure 5: Multi-criteria decision model for comparing different solutions in the reconstruction of buildings

3 ANALIZA STROŠKOV IN KORISTI

3.1 Definicija in pregled literature

Analiza stroškov in koristi (ang. Cost Benefit Analysis – CBA) je enostavna in široko uporabljena metoda, ki ugotavlja ekonomsko upravičenost predvidene aktivnosti oziroma primerja dva ali tudi več načinov opravljanja neke aktivnosti. Ocenjuje in sešteva enakovredno denarno izražene stroške in koristi določenega projekta ter podaja mnenje o upravičenosti njegovega izvajanja (Solution Matrix Ltd, 2007).

Izhodišče analize stroškov in koristi je torej preprosto, vendar pa kar hitro pride do problemov, ko želimo metodo uporabiti v praksi. Za njeno uporabo moramo namreč čim bolj natančno ugotoviti, kolikšni stroški in koristi nastanejo z izvedbo določenega projekta, ki ga analiza obravnava in kdaj bo do njih prišlo. Poleg tega moramo različne sestavine tako stroškov kot tudi koristi izraziti v enakih enotah. Splošno uporabljena standardna mera je seveda denar. Težava nastane, ko moramo ovrednotiti neprecenljivo dobrino, kot je onesnažen zrak, občutek varnosti, človeško življenje in podobno.

Problem ni le določanje ekvivalentnosti denarne vrednosti težko ocenljivih dobrin, temveč tudi, da se mora ta vrednost nanašati na točno določeno obdobje. Določena denarna enota je danes namreč vredna več, kot bo nekaj let kasneje. Velja seveda tudi obratno, določeni prihodki v prihodnosti so vredni manj kot enaki prihodki danes. Da bi lahko enakovredno vrednotili stroške in koristi iz različnih časovnih obdobj, moramo poznati obrestno mero oziroma diskontno stopnjo. Z njeno pomočjo lahko vsem preteklim in bodočim stroškom in koristim določimo sedanjo vrednost in jih s tem objektivno ovrednotimo.

Problemov, ki se pojavljajo pri analizi stroškov in koristi, je torej kar nekaj, preden pa pričnem s podajanjem rešitev in odgovorov na vprašanja, relevantna za tematiko tega dela, je v nadaljevanju podan še kratek pregled literature, ki obravnava tematiko.

V slovenski literaturi najdemo razlago osnov analize stroškov in koristi v več visokošolskih študijskih gradivih iz področja ekonomije (npr. Tajnikar, 2003), izjemno veliko pa je tudi število diplomskih in drugih nalog, ki s pomočjo analize obravnavajo različna znanstvena in

strokovna področja (npr. Mozetič, 2005; Sitar, 2006; Zalar, 2007). Med slednjimi je eno bolj uporabnih gotovo specialistično delo "Analiza stroškov in koristi za oceno upravičenosti uvajanja konkretnega projekta" (Šumak, 2007), saj se delo ne ukvarja s specifičnim problemom, temveč obravnava analizo na splošno in s tem omogoča uporabnost svojega dela za različna področja. V delu je uporabljenih in citiranih mnogo domačih (največkrat M. Tajnikar in D. Mramor) in tujih (največkrat A. Buckley, J. Grant, R. Sugden in A. Williams) virov, s čimer nam je omogočeno hitro iskanje druge relevantne literature.

Med literaturo v slovenskem jeziku je za razumevanje in uporabo CBA gotovo najprimernejši "Priročnik za izdelavo analize stroškov in koristi investicijskih projektov" (2004), ki je bil izdelan za potrebe oddelka, ki ocenjuje projekte pri Evropski komisiji (Evaluation Unit DG Regional Policy European Commission). Ker zahtevajo novi evropski predpisi za področje strukturnih skladov ter kohezijskega sklada za projekte, katerih vrednost presega 5 milijonov EUR, izvedbo CBA, je bil priročnik preveden tudi v slovenščino. Priročnik namreč obravnava uporabo CBA tudi po posameznih sektorjih kot so promet, proizvodnja energije, gozdarstvo, telekomunikacije, industrijske investicije in podobno, zaradi česar je izjemno uporaben praktično na vseh gospodarskih in negospodarskih področjih.

Med razpoložljivo tujo literaturo najdemo o CBA predvsem zelo veliko število člankov, precej manj pa je monografskih publikacij. Na področju gradbeništva so članki večinoma povezani z managementom v gradbeništvu (Loosemore, 1999; Amjad, 2005 in podobno), medtem ko monografske publikacije, kot so "Economics for the Construction Industry" (Shutt, 1997) in "Construction Economics" (Myers, 2004) pokrivajo večinoma celotno ekonomiko v gradbeništvu. "Cost Benefit Analysis of Domestic Energy Efficiency" (Clinch in Healy, 2000) je ena redka monografskih publikacij, ki se v celoti ukvarja s konkretnim problemom, to je energijsko varčnostjo stanovanjskih objektov. Energijska varčnost je eden izmed možnih kriterijev, s katerimi lahko s pomočjo CBA ocenjujemo koristnost določenih posegov v stavbe.

V nadaljevanju poglavja so najprej definirani stroški in koristi, ki jih v predlaganem odločitvenem modelu upoštevamo, nato je razložena pretvorba stroškov in koristi iz prihodnosti na tekoče stroške in s tem povezana določitev primerne diskontne stopnje, na koncu pa je prikazan še vnos vrednosti izbranih kriterijev v analizo stroškov in koristi.

3.2 Stroški

3.2.1 Vrste stroškov

Posamezna analiza mora upoštevati vse stroške in koristi investicijskega projekta, da jo lahko obravnavamo kot veljavno analizo. Prezrtje katerihkoli stroškov ali koristi bi namreč vodilo v napačen rezultat. Obsežnejša analiza stroškov in koristi v okviru odločitvenega modela lahko zahteva kategorizacijo stroškov, zato v nadaljevanju predstavljam vrste stroškov.

Stroške v teoriji razvrščamo po različnih kriterijih in jih posledično delimo v kategorije. Možno jih je deliti na:

- stalne in spremenljive stroške,
- neposredne in posredne stroške,
- eksplicitne in implicitne stroški,
- oportunitetne stroške in
- potopljene stroške. (Garrison, 1991)

Z vidika planiranja in kontrole je najbolj uporabno klasificirati stroške glede na njihovo odzivanje na spremembe v obsegu del ali določenega procesa. Tako se nekateri stroški spreminjajo, če obseg določenega procesa narašča ali pada, drugi pa ostajajo konstantni. Pri odločanju je pomembno predvideti tovrstna gibanja, stroške pa iz tega vidika delimo na spremenljive in stalne. Stalni stroški (ang. *fixed costs*) so tisti, ki niso odvisni od obsega del, na njihovo višino pa vpliva predvsem stopnja optimizacije določenih procesov. Spremenljivi stroški (ang. *variable costs*) pa se po drugi strani spreminjajo glede na obseg del.

Delitev stroškov na posredne (ang. *indirect costs*) in neposredne (ang. *direct costs*) oziroma delitev glede na pripisovanje posameznim stroškovnim nosilcem je ena najpomembnejših delitev. Med neposredne štejemo tiste stroške, za katere brez težav ugotovimo, koliko jih je nek stroškovni objekt povzročil, medtem ko so posredni stroški tisti, ki so skupni več stroškovnim objektom in jih moramo na posamezne stroškovne objekte razporediti s pomočjo določenih metod oziroma ključev.

Pri investicijskih projektih in drugih poslovnih aktivnostih se pojavljajo tudi tako imenovani eksplicitni (ang. *explicit costs*) in implicitni stroški (ang. *implicit costs*). Eksplicitni so tisti

stroški, ki za vlagatelja predstavljajo izdatek in nastanejo iz obveznosti plačila za dobavljeni material ali storitve. To so stroški, ki nastanejo z nakupi blaga in storitev po tržnih cenah. Po drugi strani implicitni stroški niso povezani z nastankom izdatka, torej ne predstavljajo odliva denarnih sredstev. Implicitni stroški se kažejo kot izgube, ki jih težko kvantificiramo. Izgubo predstavlja na primer izguba ugleda organizacije ter bodoče izgube, povezane z izgubo ugleda. To so lahko odpovedi naročil, izgube stalnih in potencialnih novih kupcev ali uporabnikov storitev ter tako dalje. Implicitne stroške denarno torej ne moremo točno izraziti, saj se bodo odražali v nadaljnjih izgubah v prihodnosti.

Ko govorimo o stroških v analizi stroškov in koristi, načeloma večinoma govorimo o oportunitetnih stroških (ang. *opportunity costs*). Zanima nas namreč, kakšna škoda nastane, če določen investicijski projekt uresničimo oziroma če ga ne uresničimo. Oportunitetni stroški so stroški zavržene različice investicijskega projekta. Splošno so oportunitetni stroški tisti stroški investicijskega projekta, ki kažejo, čemu se je potrebno odreči za uresničitev najboljše različice.

Zadnja vrsta stroškov so potopljene stroški (ang. *sunk costs*). To so stroški, ki so se že pojavili in nanje ne moremo vplivati z nobeno odločitvijo, sprejeto zdaj ali v prihodnosti. Potopljene stroški so prisotni ne glede na izbrano rešitev in jih ni možno povrniti. Ker na potopljene stroške nimamo vpliva, ne bi smeli vplivati na odločitev pri izbiri rešitve, niti jih v analizi ni potrebno upoštevati.

3.2.2 Stroški v obravnavanem odločitvenem modelu

Stroški, ki jih bomo v sklopu analize upoštevali, so po svoji naravi stalni in spremenljivi, neposredni in posredni ter načeloma vedno eksplicitni.

Število obiskov v zdravstvenem domu ali število učencev v šoli bo praktično vedno odvisno izključno od potrebe ljudi po obisku teh ustanov in le v zelo redkih primerih od ugleda ali vizualnega izgleda stavbe (pri tej trditvi ne upoštevamo vpliva zaposlenih v stavbi na njen obisk, saj se ukvarjamo izključno z analiziranjem stavb). Iz tega razloga implicitne stroške v naši analizi stroškov in koristi zanemarimo, prav tako v analizi ne upoštevamo morebitnih potopljenih stroškov, ki se tudi sicer ne bi smeli upoštevati v nobeni tovrstni analizi.

Večkriterijski odločitveni model obravnava naenkrat eno samo stavbo, za katero s pomočjo analize stroškov in koristi primerja več možnih rešitev. Iz tega razloga morajo v analizi nujno biti upoštevani le tisti stroški, ki jih bomo vložili v stavbo z namenom, da vplivajo na obseg koristi, ki jih bomo deležni v prihodnosti. Tako v analizi na primer ni potrebno upoštevati stroškov zaradi urejanja okolice, čiščenja stavbe ter drugih podobnih stroškov. Ti stroški so enaki (fiksni) ne glede na izbrano rešitev za posamezno stavbo, poleg tega pa nimajo nobenega vpliva na obseg koristi v prihodnosti. Njihovo vnos v analizo sicer ni napaka, vendar pa si v tem primeru naložimo dodatno delo z iskanjem za analizo sicer ne nujno potrebnih podatkov.

V okviru obravnavanega odločitvenega modela in z njim povezane analize stroškov in koristi je naša naloga, da poiščemo, ovrednotimo in nato upoštevamo naslednje stroške, do katerih lahko pride pri vsaki izmed v analizi obravnavanih stavb:

- stroški konstrukcijske ojačitve,
- stroški energetske sanacije,
- potencialni stroški drugih del in procesov.

3.3 Koristi

3.3.1 Vrste koristi

Pri ocenjevanju koristi v katerikoli analizi stroškov in koristi imamo opraviti s tremi vrstami koristi in sicer tržnimi, zunanji in delitvenimi (Tajnikar, 2003).

Tržne koristi so tiste, ki nastanejo s prodajo storitev ali proizvodov zaradi obravnavanega projekta. Med te tržne koristi prištevamo vse tiste dobrine, s katerimi v danem trenutku pričnemo pridobivati denarna sredstva. Večina projektov vsebuje tržne koristi, med izjeme pa se štejejo projekti neprofitnih organizacij, lokalnih skupnosti ali države. Takšna izjema so tudi v magistrskem delu obravnavani projekti oziroma natančneje sanacije stavb.

Zunanje koristi so tiste, ki nastanejo kot posledica projekta. Tako na primer izboljšanje termoizolacijske zaščite stavbe pomeni znižanje stroškov ogrevanja, izboljšanje potresne varnosti stavbe pa zmanjšanje škode v primeru potresa. V obeh primerih gre za zunanje

koristi. Te vrste koristi nastopajo tudi v našem odločitvenem modelu.

Delitvene koristi so tiste, ki vplivajo na delitev bogastva v družbi zaradi določenega projekta. Tržne in zunanje koristi lahko natančno ocenimo, medtem ko je ocena delitvenih koristi mnogo bolj zahtevna. Te nastanejo pri odločanju med dvema projektoma, ki ob svoji izvedbi vplivata na različne sloje družbe. Denimo, da je prvi projekt financiranje klinike za odvajanje od kajenja, drugi pa dodatno izobraževanje težko zaposljivih ljudi. Pri odločitvi za izvedbo enega od projektov je jasno zgolj, da bo ena odločitev koristila kadilcem, druga pa nezaposlenim. Kako velike pa so posamezne koristi s finančnega stališča, pa je izredno težko (če že ne nemogoče) ugotoviti.

3.3.2 Koristi v obravnavanem odločitvenem modelu

Koristi je v obravnavanem odločitvenem modelu določiti bistveno težje kot stroške. Razlog za to je preprost. Stroški so vezani na potrošen gradbeni material in uporabljeno delovno silo v bližnji prihodnosti. Za obe vrsti postavk so nam zato cene natančno znane in posledično lahko celotne stroške dokaj natančno določimo. Koristi so po drugi strani vezane na daljše obdobje v prihodnosti, pri tem pa je dolžina obdobja odvisna od časovnega okvirja analize. Bolj kot je neka korist časovno oddaljena, manj natančno jo lahko določimo. Z manj natančno imamo v mislih verjetnost, da bo obseg določene koristi v določenem letu res tak, kot smo jo v analizi, ki je bila izdelana predhodno, predvidevali. Sam znesek sicer natančno določimo.

Razlog za to so različni nepredvidljivi dogodki, ki se tekom let lahko zgodijo in s tem močno vplivajo na velikost obravnavanih koristi. Tako bi na primer potencialne večje prekinitve v dobavi nafte (iz kateregakoli razloga) bistveno zvišale cene vseh vrst energentov. Posledično bi bile koristi zaradi novo vgrajene termoizolacije bistveno višje, kot smo jih upoštevali v začetni analizi. Nikakor pa tak izreden dogodek ne smemo upoštevati v sami analizi kot gotov dogodek, saj bi to povsem popačilo rezultate. V analizi moramo zato nujno zabeležiti vse uporabljene predpostavke.

Koristi, ki jih bomo obravnavali kot posledico obravnavanih stroškov, so naslednje:

- znižanje porabe energentov,
- zmanjšanje škode v primeru potresa,

- višja vrednost stavbe,
- potencialne druge koristi.

Koristi v sklopu analize stroškov in koristi za obravnavani odločitveni model torej niso koristi, ki bi dajale finančni priliv, temveč kot koristi razumemo zmanjšanje stroškov oziroma potencialnih škod. V njih so implicitno zajete tudi družbene (npr. manj človeških žrtev v primeru potresa) ter okoljske koristi (npr. manjši toplogredni učinek stavbe na ozračje). V nadaljevanju naloge bomo sicer govorili skoraj izključno o stroških, vendar pri tem ne smemo pozabiti, da so v njih skrite tudi koristi.

Stroški in koristi, povezani s porabo energentov ter drugimi stroški in koristmi, so skupaj obravnavani v poglavju 4. *Analiza življenjskih stroškov*, medtem ko so stroški in koristi v zvezi z zmanjšanjem škode v primeru potresa obravnavani v poglavju 6. *Analiza stroškov izboljšanja potresne varnosti*.

3.4 Pretvorba stroškov v prihodnosti na tekoče stroške

Za objektivno primerjavo različnih rešitev moramo vse stroške, ki se bodo pojavili v prihodnosti, spremeniti v tekoče stroške in sicer z uporabo diskontirane analize denarnih tokov. Pri primerjavi različnih variantnih rešitev namreč večinoma ugotovimo, da se enake vrste stroškov pri različnih rešitvah pojavljajo v različnih časovnih obdobjih in so hkrati tudi različno visoki.

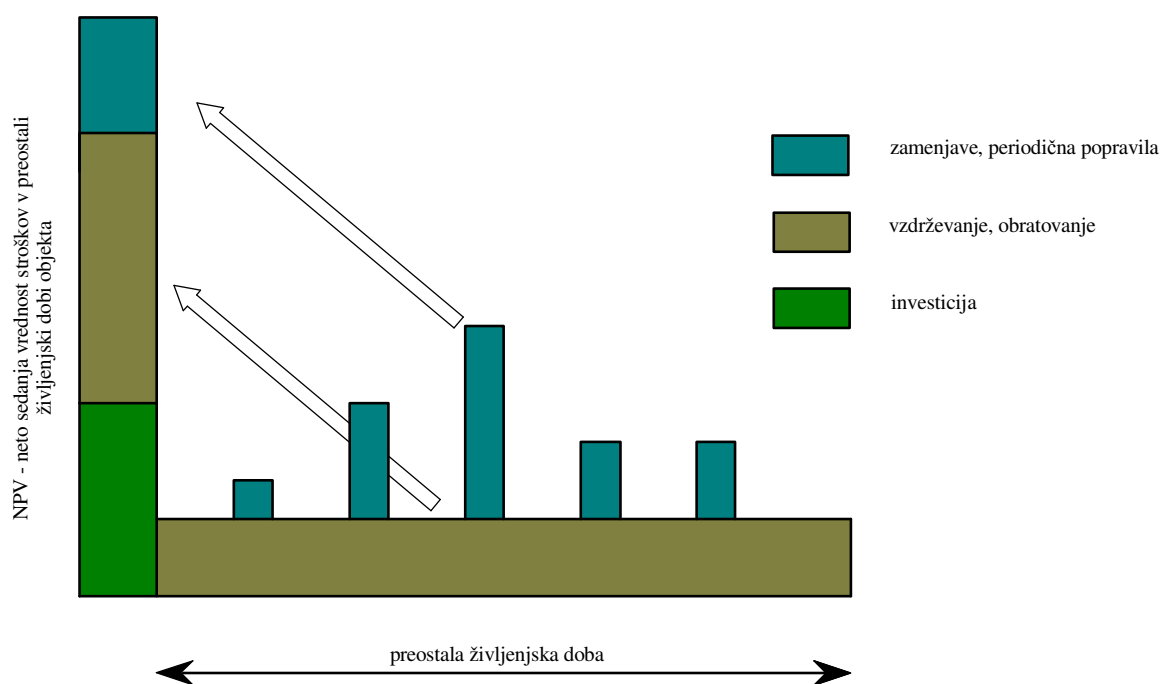
Postopek neto sedanje vrednosti (ang. Net Present Value – NPV) prevede nize denarnih tokov, ki se zgodijo v različnih časovnih obdobjih prihodnosti, na enotno vrednost ob določenem času v sedanjosti s pomočjo tehnike diskontiranja.

Pri tej tehniki diskontiramo vse prihodnje stroške (pa tudi eventualne donose oziroma koristi) na sedanje vrednosti, temu pa dodamo še vse stroške začetne investicije. S tem dobimo neto sedanjo vrednost (NPV) za posamezno variantno rešitev (slika 6). Neto sedanjo vrednost izračunamo po naslednji enačbi:

$$NPV = \sum_{t=0}^N \frac{C_t}{(1+d)^t} \quad (1)$$

Pri tem je: C_t stroški/koristi v letu t
 t specifično časovno obdobje
 N število let
 d dogovorjena diskontna stopnja

Za izračun moramo torej čim bolj natančno poznati vse stroške v posameznem letu, določiti število let, ki jih bo račun upošteval ter določiti primerno diskontno stopnjo. Pri vseh potrebnih podatkih je na napako najbolj občutljiva izbira diskontne stopnje. Če se na primer pri stroških zmotimo za 12%, je tudi skupna napaka prav tolikšna, če pa je napaka pri določanju diskontne stopnje 2%, so diskontirani stroški za 30. leto (torej prevedeni na neto sedanjo vrednost) napačni že za kar 80%. Izbira "pravilne" diskontne stopnje je torej izjemno pomembna.



Slika 6: Diskontiranje vseh stroškov na neto sedanjo vrednost (Gundersen, 1998)

Figure 6: Discounting costs to the net present value (Gundersen, 1998)

3.5 Diskontna stopnja

Stroške in koristi, ki nastajajo v različnih obdobjih, je potrebno diskontirati. Pri tem ločimo družbeno in finančno diskontno stopnjo. V teoriji in mednarodni praksi obstaja širok izbor možnih pristopov ter razlag pri izbiranju vrednosti tako imenovane družbene diskontne stopnje. Mednarodna praksa je zelo obsežna in zajema različne države ter mednarodne organizacije.

Splošna in nesporna definicija finančne diskontne stopnje je oportunitetni strošek kapitala. Oportunitetni strošek je vrednost najboljše izmed neizbranih alternativnih rešitev, zaradi izvedbe izbrane rešitve (Myers, 2004), kar z drugimi besedami pomeni, da z uporabo kapitala za neki projekt izgubimo prihodek pri nekem drugem projektu. Tako imamo neposredni strošek, ko porabimo kapital za določen investicijski projekt in s tem izgubimo možnost prihodka iz drugega projekta. Pri določitvi ustrezne finančne diskontne stopnje v splošnem obstajajo trije pristopi, ki so opisani v nadaljevanju.

3.5.1 Določanje finančne diskontne stopnje

Prvi pristop izhaja iz minimalnega oportunitetnega stroška kapitala. To pomeni, da lahko pri javnih investicijah določimo diskontno stopnjo na podlagi realne obrestne mere državnih vrednostnih papirjev (mejni stroški javnega deficita) ali dolgoročne obrestne mere za komercialne kredite.

Drugi pristop določa maksimalno vrednost diskontne stopnje, ker upošteva izgubljeni prihodek zaradi najboljšega alternativnega investicijskega projekta. V praksi se oportunitetni strošek kapitala oceni na podlagi mejnega donosa portfelja vrednostnih papirjev na mednarodnem finančnem trgu ob dolgoročno minimalnem tveganju. Tu je alternativa obravnavanemu projektu torej ustrezní finančni portfelj.

Tretji pristop je določitev mejne diskontne stopnje ali "cut-off rate". Ta omogoča, da se izognemo podrobni analizi stroška kapitala za določen projekt (skladno s prvim pristopom) ali preučitvi portfeljev na mednarodnem finančnem trgu (skladno z drugim pristopom) in

uporabimo preprosto oceno, ki pa seveda mora temeljiti na neki realni osnovi.

3.5.2 Določanje družbene diskontne stopnje

Družbena diskontna stopnja skuša odražati družbeni vidik, kako naj bi bodoče koristi in stroške vrednotili glede na zdajšnje razmere. Ko kapitalski trgi niso popolni (kar je običajno), se družbena diskontna stopnja lahko razlikuje od diskontne stopnje v finančni analizi.

Običajno države za svoje javne projekte določajo dokaj nizko družbeno diskontno stopnjo. V Angliji opredeljuje diskontno stopnjo Zelena knjiga¹ in je določena pri 6%, vendar obstaja veliko izjem, kjer je stopnja nižja. V Italiji znaša v navodilih za izdelavo študij izvedljivosti diskontna stopnja 5%. V Španiji so za različne sektorje vlaganja določene različne diskontne stopnje in sicer od 4% do 6%. Prav tako se glede na vrsto investicije razlikujejo diskontne stopnje v ZDA, večinoma pa uporabljajo stopnjo, ki je enaka obrestim zakladnih rezerv.

Načinov določanja družbene diskontne stopnje je več, večinoma pa se uporablja formula, ki je zasnovana na dolgoročni stopnji gospodarske rasti. Približna formula (Priročnik za izdelavo analize stroškov in koristi investicijskih projektov, 2004, str. 104) je naslednja:

$$r = n \cdot g + p \quad (2)$$

Pri tem je:

| | |
|-----|--|
| r | realna družbena diskontna stopnja javnih skladov |
| g | stopnja rasti bruto domačega proizvoda (BDP) |
| n | elastičnost družbene blaginje na javne izdatke |
| p | stopnja notranje časovne preference |

Stopnja rasti BDP je v večini članic Evropske unije okoli 2~3% letno (pri nas je trenutno sicer nekoliko višja, vendar se bo rast v prihodnosti gotovo nekoliko znižala), elastičnost družbene blaginje pa se giblje med 1 in 2. Notranja časovna preferenca je okrog 1%, iz česar sledi, da je realna družbena diskontna stopnja nekje med 3% in 5%.

¹ HM Treasury (1997) Appraisal and Evaluation in Central Government. The Green Book (Prevod v slovenski jezik: Ocenjevanje gospodarnosti v ministrstvih in javni upravi, Odin., d.o.o., 2001).

3.5.3 Upoštevana družbena diskontna stopnja

Pri vseh vrstah stavb, ki bodo analizirane v obravnavanem modelu večkriterijskega odločanja, naj bi se upoštevana diskontna stopnja gibala med 3% in 5% (na podlagi gornje diskusije). Kot smo že omenili (poglavje 4.4), so vrednosti diskontnih stroškov izjemno občutljive na izbrano diskontno stopnjo. "Pravilna" izbira diskontne stopnje (znotraj prej navedenega intervala) je torej velikega pomena na nadaljnje rezultate.

Univerzalnega odgovora na izbor diskontne stopnje ni. Izbor je navadno odvisen od cele množice indikatorjev, ki jih dobri finančniki poznajo. Diskontno stopnjo določijo za vsak posamezen projekt posebej na podlagi ocene vrednosti izbranega nabora indikatorjev.

Izbor diskontne stopnje za potrebe naše analize stroškov in koristi je sicer močno omejen (saj se giblje le med 3% do 5%), vendar moramo biti pri njegovi izbiri kljub temu preudarni. Pri obravnavi stavb, poškodovanih v naravnih nesrečah, lahko za potrebe določanja diskontne stopnje ločimo tri kategorije:

- a) stavba je nujno potrebna sanacije;
- b) sanacija ni nujno potrebna, lahko se odločamo o najbolj optimalnem naboru ukrepov;
- c) stanje obravnavane stavbe je nekje med obema skrajnostima.

Sodim, da mora biti v primeru nujno potrebne sanacije uporabljena najnižja diskontna stopnja. V tem primeru so namreč v času izvedbe skoraj vseh vrst gradbenih ali obrtniških del stavbe neko obdobje neuporabne ali le delno uporabne, za več vrst del je potrebno postaviti gradbene odre (kar ni majhen strošek), poleg tega pa se morajo v sklopu večine del odstraniti ali zaščititi tudi nekateri sicer nepoškodovani elementi stavbe. Iz teh razlogov je najbolje, da se v času izvedbe nujnih del izvedejo tudi vsa ostala dela, ki bi se sicer potencialno lahko izvedla v dokaj bližnji prihodnosti. Nižja kot je izbrana diskontna stopnja, več del se izkaže za ekonomsko upravičene zaradi njihovih koristi v prihodnosti. Z nizko določeno diskontno stopnjo tako zajamemo praktično vse posege, ki prinašajo vsaj minimalne koristi.

V stavbo, ki sanacije ni nujno potrebna, pa po drugi strani ne bomo posegali na vsak način. V tem primeru bi se del lotili le v primeru, če bi ta izkazala zadovoljivo visoko stopnjo

koristnosti. To pa najlažje določimo z uvedbo višje diskontne stopnje v okviru analize stroškov in koristi.

Zato je predlog izbire višine diskontne stopnje sledeč:

- če je stavba nujno potrebna sanacije (v primeru, da je poškodovana zaradi potresa) naj bo diskontna stopnja 3%,
- če stavba sanacije ni nujno potrebna in se o najboljših alternativah šele odločamo, naj bo diskontna stopnja 5%.
- Če je stanje obravnavane stavbe nekje med tema skrajnostima, naj bo diskontna stopnja 4%.

3.6 Vnos podatkov v analizo stroškov in koristi

Analiza stroškov in koristi predstavlja zadnji element izbranega večkriterijskega modela odločanja. Vanjo vnesemo vse podatke, ki smo jih pred tem zbrali v okviru odločitvenih kriterijev: stroškov izboljšanja potresne varnosti, življenjskih stroškov in vrednosti stavbe.

Vse v okviru izbranih kriterijev upoštevane stroške ter s tem tudi vanje skrite koristi seštejemo po posameznih variantnih rešitvah na sledeči način:

$$NPV = INV + \frac{C_1}{1+d} + \frac{C_2}{(1+d)^2} + \dots + \frac{C_T}{(1+d)^T} + \frac{V_T}{(1+d)^T} \quad (3)$$

Krajše lahko zgornjo enačbo zapišemo še kot:

$$NPV = INV + \sum_{t=0}^T \frac{C_t}{(1+d)^t} + \frac{V_T}{(1+d)^T} \quad (4)$$

Pri tem je: NPV neto sedanja vrednost posamezne variantne rešitve
 INV začetna investicija
 t specifično časovno obdobje ($t=0, 1, \dots, T$)

| | |
|-------|---|
| T | število let, ki jih analiza zajema |
| C_t | skupni stroški vzdrževanja, eventuelne sanacije potresne škode ter stroški ogrevanja in hlajenja v letu t ($t=0, 1, \dots T$) |
| V_T | vrednost stavbe v letu T |
| d | dogovorjena diskontna stopnja |

V stroške C_t so skrite tudi koristi, ki jih bomo deležni v primeru dviga potresne odpornosti stavbe ali vgradnje toplotne izolacije. Te koristi se bodo kazale kot manjši stroški ogrevanja in manjši stroški (škode) v primeru potencialnih potresov.

Vrednosti stroškov in koristi posameznih kriterijev bodo seštete in diskontirane na koncu vsakega nadaljnjega poglavja, tako da jih bo ob koncu analize potrebno po posameznih variantnih rešitvah samo še sešteti. Variantna rešitev, ki bo dala najvišjo neto sedanjo vrednost (najverjetneje bo to najmanj negativna vrednost) bo izbrana kot najboljša rešitev. Rezultat neto sedanje vrednosti bodo tako dali skupaj sešteti celotni relevantni stroški in z njimi povezane koristi ter vrednost stavbe po časovnem okviru analize (tekem naloge pridemo do zaključka, da za potrebe predlaganega odločitvenega modela ni potrebno določiti vrednosti stavbe kot celote, temveč namesto nje določamo le neto sedanjo vrednost neamortiziranega dela investicijskih stroškov posamezne variantne rešitve).

Neto sedanjo vrednost (NPV) stavbe pri izbranih kriterijih izračunamo za posamezno variantno rešitev s pomočjo izraza:

$$NPV = NPV_{LCCA} + NPV_{POTRES} + NPV_{NEAMORT_INV} \quad (5)$$

| | |
|-------------------|---|
| Pri tem je: NPV | skupna neto sedanja vrednost posamezne variantne rešitve |
| NPV_{LCCA} | neto sedanja vrednost stroškov energetske sanacije, stroškov ogrevanja in hlajenja ter rednega vzdrževanja |
| NPV_{POTRES} | neto sedanja vrednost stroškov izboljšanja potresne varnosti in stroškov eventuelne sanacije potresne škode |

$NPV_{NEAMORT_INV}$ neto sedanja vrednost neamortiziranega dela investicijskih
vlaganj posamezne variantne rešitve v zadnjem letu analize

Z določitvijo diskontne stopnje in načina izračuna neto sedanje vrednosti posamezne variantne rešitve se analiza stroškov in koristi zaključi. Naslednja faza v odločitvenem modelu je določitev posameznih neto sedanjih vrednosti izbranih kriterijev.

4 ANALIZA ŽIVLJENJSKIH STROŠKOV

4.1 Definicija in pregled literature

Strošek življenjskega cikla (ang. Life Cycle Cost – LCC) je po definiciji celoten strošek obravnavanega predmeta in njegove opreme. Pri tem imamo v mislih stroške nakupa, uporabe, vzdrževanja, posodobitve in/ali odstranitve (Barringer, 1996, cit. po SAE, 1995). Stroški in njihov obseg se določajo s pomočjo analitične študije, znotraj katere kar najbolj ocenimo stroške vsakega elementa, ki je del predmeta oziroma se ga tiče. Cilj analize življenjskih stroškov (ang. Life Cycle Cost Analysis – LCCA) je določitev celotnih stroškov življenjskega cikla za različne alternativne rešitve ter iskanje optimalne rešitve (med obravnavanimi rešitvami), ki bo dolgoročno gledano lastniku prinesla najnižje skupne stroške.

Veliko število raziskovalnih del na področju celotnih življenjskih stroškov objekta je bilo, še posebej v zadnjem času, izdelanih za področje energetske sanacije stavb (Dong in soavt., 2005; Mearing in soavt., 1999; Tomšič in soavt., 2005). To zaradi vedno višjih cen vseh vrst energentov ni presenetljivo. Ta dela največkrat obravnavajo porabo energije določene stavbe pred in po sanaciji. Z ugotavljanjem razmerja med vloženi stroški v sanacijo stavbe in prihrankom energije zaradi manjše potrošnje energije ugotovijo, v kolikšnem času se investitorju začetna investicija povrne. Pri tem večinoma primerjajo več možnih rešitev.

V Sloveniji sta na področju raziskav o energetske sanaciji stavb najbolj dejavna Šijanec in Tomšič (2004, 2005), ki sta med drugim izdala priročnik in vodnik za celostno načrtovanje prenov stavb. Jedro obeh del predstavlja analiza življenjskih stroškov stavbe (ang. Life Cycle Cost Analysis - LCCA), ki celostno obravnava vse stroške posamezne stavbe kot so začetni stroški naložbe, obratovalni stroški in stroški za energijo. Ugotavljata, da predstavlja pri 100 let stari stavbi delež obratovalnih stroškov in stroškov porabe energije 80 do 85% celotnih stroškov stavbe, projektiranje in gradnja stavbe pa le 15 do 20%.

Priročnik in vodnik omenjata in kratko predstavita več dejavnikov, ki se upoštevajo pri načrtovanju obnove stavb, daleč največ pozornosti pri tem namenjata porabi energije. Teoretično lahko določimo stroške celotnega življenjskega kroga stavbe z enačbo (Tomšič,

Šijanec, 2004)¹:

$$K = A + \sum_{t=0}^n \frac{D_t + e_0 \cdot (1+q)^t \cdot E_t}{(1+r)^t} \quad (6)$$

Pri tem je:

| | |
|-------|---|
| A | začetna investicija |
| D_t | vzdrževalni stroški za leto t |
| e_0 | začetni stroški energije |
| q | naraščanje cene energije zaradi inflacije |
| E_t | poraba energije v letu t |
| n | življenjska doba (računsko obdobje) |
| r | obrestna mera (realna) |

V zvezi z LCCA in z njo povezanimi celotnimi življenjskimi stroški objekta je v tuji literaturi na voljo veliko število člankov in drugih publikacij. Barringer in Weber sta leta 1996 izdala publikacijo "Life Cycle Cost Tutorial", ki jo različni avtorji še danes večkrat citirajo. V njej so zapisane definicije strokovnih terminov povezanih z LCCA, prikazani so konkretni primeri, razloženo je, katere dejavnike (stroške) v LCCA upoštevamo in zakaj. Stroški so klasificirani po skupinah in predstavljeni v preglednicah.

Vsebinsko podobno publikacijo z naslovom "Guidance on Life Cycle Cost Analysis Required by Executive Order 13123" (2003) je izdal tudi Ameriški institut za standardizacijo in tehnologijo (ang. National Institute of Standards and Technology – NIST). Publikacija je namenjena vsem ameriškim zveznim agencijah in drugim organom. Skladno s tem navodilom morajo pred vsako večjo investicijo izvesti LCCA po navodilih, danih v priročniku. Cilj publikacije je znižati vse vrste stroškov. NIST je poleg priročnika objavil tudi več člankov na temo zniževanja stroškov, cilj člankov pa je ozavestiti ameriško javnost o pomembnosti zmanjšanja porabe energije in s tem zmanjšanja stroškov.

¹ Enačba predpostavlja, da se cena energentov s časom ne spreminja

Precej literature, povezane s celotnimi življenjskimi stroški, obravnava tudi povsem konkretne probleme. Tako na primer Ehlen (1999) primerja stroške klasičnega armiranobetonskega mostu in več mostov, katerih plošče so grajene iz kompozitnega materiala. Ugotavlja, da mostovi iz kompozitnega materiala kljub nizkim stroškom vzdrževanja zaradi visokih začetnih stroškov (stroškov gradnje) niso konkurenčni klasični gradnji. Pri tem je stopnja konkurenčnosti odvisna od vrste uporabljenega kompozitnega materiala in gostote prometa. Ta primer lepo kaže uporabnost LCCA v praksi.

Drug primer študije konkretnega problema predstavlja članek "Comparing Life Cycle Implications of Building Retrofit and Replacement Options" (Dong in soavt., 2005). Članek obravnava primernost sanacije oziroma nadomestne gradnje za tri tipe hiš, ki so bile grajene v različnih časovnih obdobjih. Primerja porabo energije in materiala tako v primeru sanacije posamezne stavbe kot tudi v primeru njene nadomestne gradnje. Podobno temo najdemo tudi v delu "The Environmental Implications of Building New Versus Renovating an Existing Structure" (Trusty, Meil, 2000).

Kot je omenjeno že v začetku poglavja, je bilo v zadnjih letih izdanih izjemno veliko število člankov na temo življenjskih stroškov stavb in z njimi povezano porabo energije, ki predstavlja velik delež vseh stroškov stavbe v fazi uporabe. Ljudje namreč stremimo k optimizaciji in minimaliziranju stroškov na vseh področjih, očitno pa postaja, da bo vprašanje energijske učinkovitosti stavb vsako leto pomembnejša tema tako zaradi ekonomskih kot okoljskih vidikov rabe energije v stavbah.

4.2 Življenjski cikel stavbe in skupni stroški

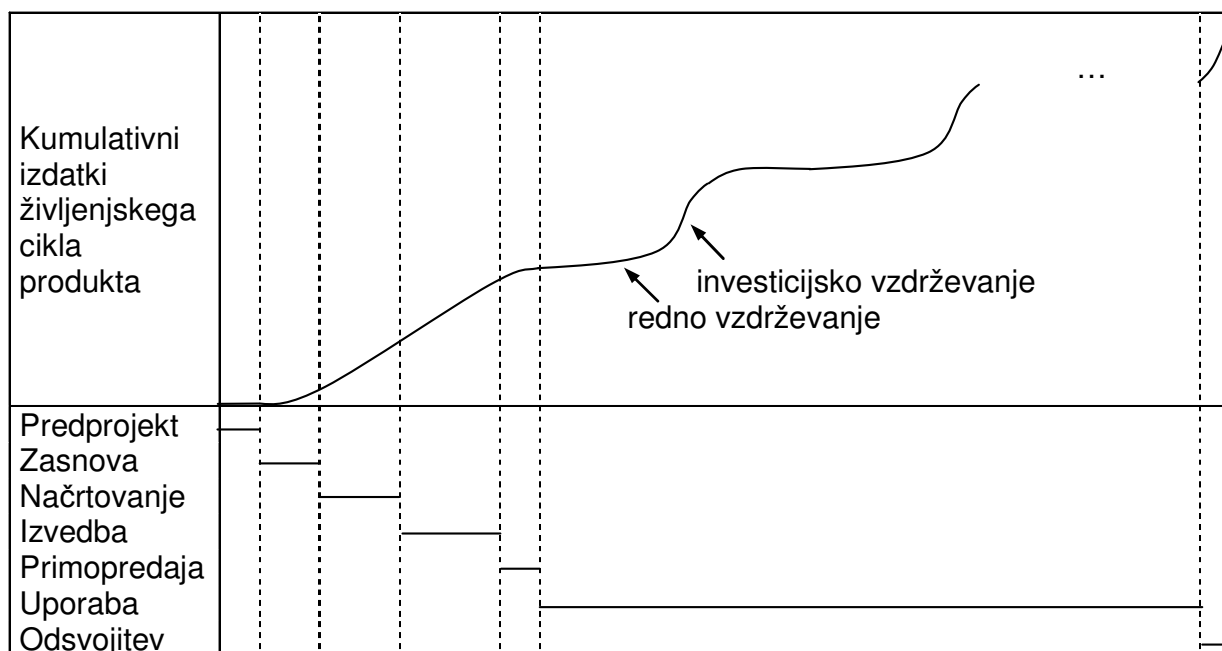
LCCA je lahko postopek presoje upravičenosti celotne naložbe ali le posameznega posega v katerikoli življenjski fazi stavbe. V sklopu magistrskega dela bo analiza obravnavala posamezno stavbo od časa njene sanacije oziroma posodobitve dalje.



Slika 7: Življenjski cikel objekta (Pšunder, 2004)

Figure 7: Life cycle of facility (Pšunder, 2004)

Analiza celotne življenjske dobe objekta kot že rečeno načeloma zajema vse dogodke, ki se zgodijo v življenjskem ciklu objekta. Na sliki 7 je prikazan življenjski cikel objekta, na sliki 8 pa diagram akumuliranja stroškov skozi posamezne faze tega cikla.



Slika 8: Skupni stroški v življenjski dobi objekta (I. Pšunder, 2004)

Figure 8: Total costs in the life time of facility

Življenjski cikel objekta je v grobem razdeljen na dve dobi, in sicer dobo projektiranja objekta in dobo uporabe objekta. Dobo projektiranja lahko nato naprej kronološko delimo na predprojekt, zasnovo, načrtovanje, izvedbo in predajo objekta. Splošno znano je, da lahko na celotne stroške, ki se tičejo objekta, najbolj vplivamo v začetku njegovega cikla (na primer v času zasnove ali načrtovanja), nato pa vedno manj (v času izvedbe). Iz tega razloga je torej čas zasnove in načrtovanja izjemno pomemben. V tem obdobju posredno vplivamo v večji ali manjši meri na večino stroškov, ki se bodo pojavili v prihodnosti.

Tudi dobo uporabe objekta razdelimo na več delov, in sicer na vzdrževanje, posodobitev in odstranitvev. Tu ne gre za kronološko delitev dobe. Prvi dogodek se namreč načeloma dogaja neprekinjeno med uporabo objekta, drugi nastopi večkrat v življenjski dobi objekta, medtem ko čas odstranitve objekta nastopi le enkrat in sicer kot zadnji dogodek v življenjski dobi objekta. Vsak od teh dogodkov pa tudi sam zase predstavlja projekt. Dobo posodobitve objekta tako kronološko delimo na predprojekt, načrtovanje, izvedbo in predajo, enako kot življenjski cikel projekta gradnje posameznega objekta. Tudi v časovnem obdobju posodobitve lahko na celotne stroške objekta v obdobju po posodobitvi najbolj vplivamo v času njene zasnove in načrtovanja (kar je tudi tema tega magistrskega dela).

Na diagramu akumuliranja skupnih stroškov (slika 8) vidimo, da lahko faza investicijskega vzdrževanja nastopi velikokrat, število ponovitev le te pa je v največji meri odvisna od vrste objekta. Stroški vzdrževanja in obratovanja objekta v fazi njegove uporabe presežejo stroške faze njegovega projektiranja in gradnje praviloma kar za 2 do 20 krat (Pšunder, 2004). To razmerje je v največji meri odvisno od vrste objekta. Veliki infrastrukturni objekti, kot na primer hidroelektrarne, so med svojo uporabo deležne sistematičnega večkratnega investicijskega vzdrževanja, medtem ko je število takšnih posegov pri bivalnih objektih bistveno nižje in se zanje tudi porabi relativno (glede na strošek gradnje) manj denarja.

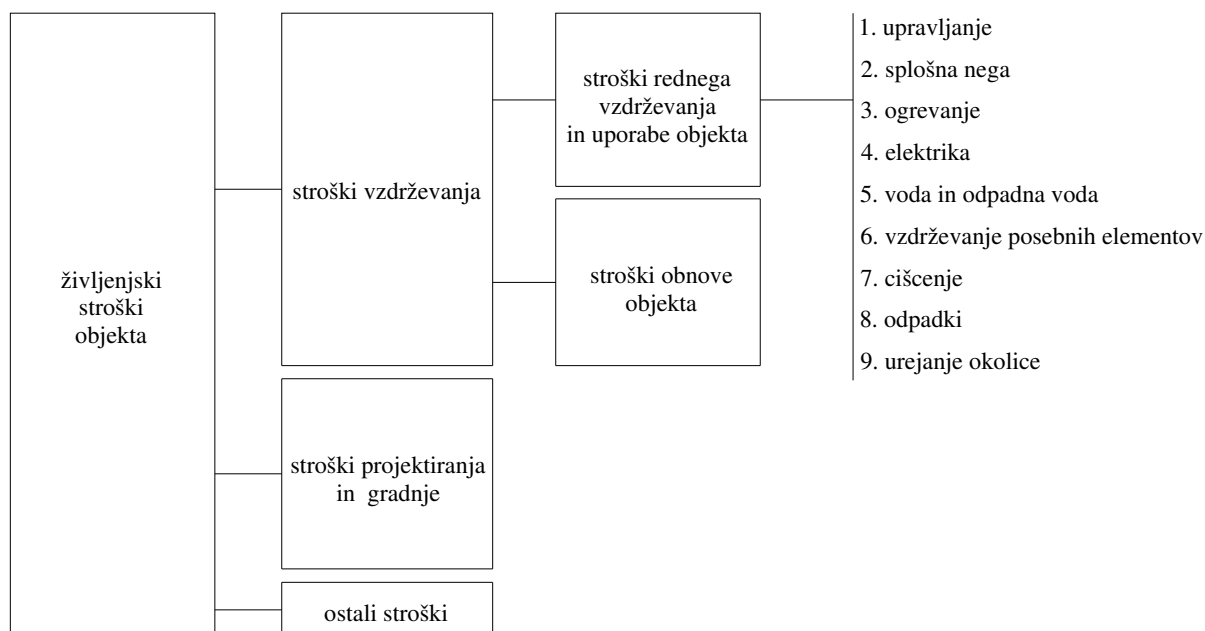
Pri bivalnih stavbah stroški v času uporabe stavbe presegajo stroške v času njenega načrtovanja in gradnje po nekaterih ocenah za faktor okoli 2,4 (Pšunder, 2004). Ta podatek nam daje jasno vedeti, da moramo pri načrtovanju gradnje ali obnove stavbe temeljito razmisliti, kolikšne stroške bomo imeli s stavbo tudi v času njene uporabe in ne le v času gradnje ali obnove. Nekoliko višji stroški v času gradnje ali obnove (iz različnih razlogov, ki jih bomo obravnavali kasneje) se nam lahko namreč kasneje močno obrestujejo v obliki

različnih prihrankov.

4.3 Načini klasifikacije življenjskih stroškov

V sklopu LCC analize moramo upoštevati vse stroške, ki se pojavijo v življenjski dobi stavbe. Za izvajanje primerjalnih analiz je zaželeno, da so klasifikacije stroškov in metode za njihovo določanje standardizirane. Posamezne države ali združenja so razvila svoje klasifikacije, od katerih v nadaljevanju za ilustracijo prikazujemo dve vrsti metodologij, ki sta bili razviti na Finskem in v ZDA.

Na sliki 9 je prikazana klasifikacija stroškov, kot jo v sklopu LCC analize uporabljajo na Finskem za ugotavljanje življenjskih stroškov objektov (Pulakka, 1999), na sliki 10 pa za primerjavo še klasifikacija stroškov, ki jo uporablja Ameriško društvo inženirjev (SAE, 1995). Poleg predstavljenih seveda obstaja še veliko število drugih klasifikacij. Klasifikacije so si po svoji zgradbi oziroma razčlenjenosti lahko precej različne, njihova vsebina pa je v vseh primerih zelo podobna, torej dajejo svojim analizam podobne vhodne podatke.

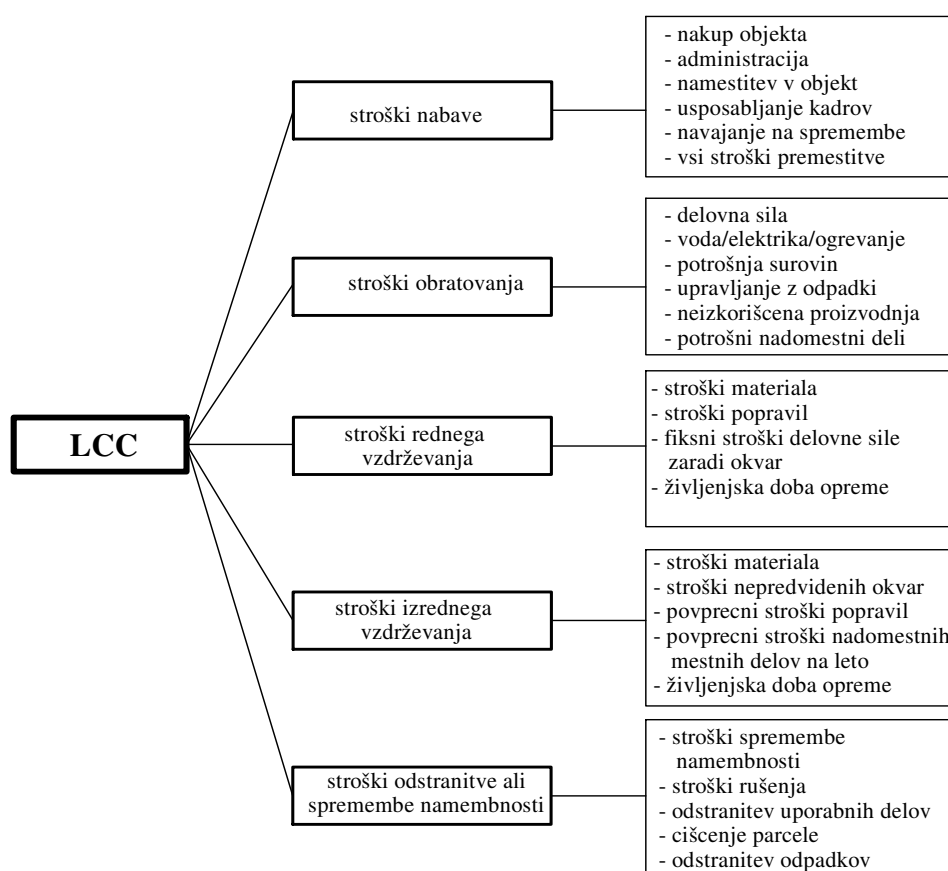


Slika 9: Klasifikacija življenjskih stroškov objekta na Finskem (Pulakka, 1999)

Figure 9: Life cycle cost classification in Finland (Pulakka, 1999)

Iz slik 9 in 10 lahko razberemo, da LCC analiza ni eksaktna znanost, temveč v nekaterih segmentih temelji tudi na predvidevanjih in ocenah. To sta samo dva izmed več razlogov, zakaj so si klasifikacije življenjskih stroškov precej različne.

Za potrebe magistrskega dela sem se kot osnovo odločil uporabiti finski način klasifikacije življenjskih stroškov. Večjih razlik med posameznimi klasifikacijami sicer ni, za finski model pa sem se odločil zaradi njegove preglednosti.



Slika 10: Klasifikacija življenjskih stroškov Ameriškega društva inženirjev (Barringer, 1996, cit. po SAE, 1995)

Figure 10: Life cycle cost classification of the American society of engineers (Barringer, 1996, quote SAE, 1995)

4.3.1 Upoštevani življenjski stroški v sklopu predlaganega modela

Finski model ima v začetku stroške deljene na tri osnovne dele in sicer stroške projektiranja in gradnje, stroške vzdrževanja ter ostale stroške. Ker obravnavamo le že zgrajene stavbe, stroški projektiranja in gradnje za naš model odločanja niso relevantni. Prav tako pa ne bomo upoštevali ostalih stroškov. Sem spadajo večinoma manjši nepredvideni stroški, ki jih je izredno težko objektivno oceniti, po drugi strani pa v odstotkih ne predstavljajo omembe vrednega deleža skupnih stroškov. Na ta način bodo v LCCA upoštevani le stroški, ki jih beležimo pod stroški vzdrževanja in jih delimo na stroške obnove ter stroške rednega vzdrževanja in obratovanja stavbe.

Pri tem bomo tiste stroške obnove in z njimi povezane koristi, ki se nanašajo na potresno ojačitev stavbe, obravnavali oziroma upoštevali posebej v poglavju *6 Analiza stroškov izboljšanja potresne varnosti*, vse ostale stroške obnove pa obravnavamo v sklopu LCCA. Pri tej delitvi moramo biti previdni, da katerega izmed stroškov ne upoštevamo dvojno oziroma v obeh analizah.

Stroški obnove bodo v LCCA nastopili le enkrat in sicer na začetku obdobja, ki je obravnavan v analizi, medtem ko se bodo stroški rednega vzdrževanja in obratovanja stavbe pojavljali načeloma nepretrgoma.

V primeru, da bi v sklopu celotne analize oziroma sistema odločanja obravnavali različne stavbe (torej bi iskali optimalno rešitev med več stavbami), bi morali pri stroških rednega vzdrževanja in uporabe upoštevati prav vse stroške, povezane s posamezno stavbo. Naša naloga pa je določiti najbolj ugodno rešitev za eno samo stavbo. S tem določeni stroški rednega vzdrževanja za izračun niso relevantni, saj se bodo vedno pojavljali v enakem obsegu, ne glede na izbrano rešitev. Tako so na primer ne glede na izbrano alternativo vedno enaki naslednji stroški¹:

- upravljanje,
- voda in odpadna voda,
- vzdrževanje posebnih elementov,

¹ velja za primer, ko se število prebivalcev/uporabnikov stavbe zaradi obnove ne spremeni

- čiščenje,
- odpadki,
- urejanje okolice.

Stroški upravljanja sicer niso povsem enaki, če med seboj primerjamo popolnoma obnovljeno stavbo z neobnovljeno, saj je jasno, da slednja zahteva več upravnikovega časa zaradi administracije in drugih dogodkov, povezanih z manjšimi opravili. Vendar pa večji del stroškov upravljanja predstavljajo fiksni stroški, ki niso povezani s količino dela. Iz tega razloga lahko te manjše razlike v stroških upravljanja zanemarimo oziroma jih upoštevamo pri stroških splošne nege.

Na prvi pogled bi lahko dejali, da je tudi poraba elektrike ne glede na izbrano alternativo dokaj podobna, saj bodo svetila in nekateri električni aparati prižgani enako dolgo, ne glede na izbrano rešitev. Vendar pa je tu možna uporaba varčnih žarnic in drugih električnih aparatov, katerih začetni strošek je ob nakupu nekoliko večji, nato pa ti sčasoma zaradi manjše porabe energije vračajo vložek. Poleg tega lahko razlika v porabi električne energije nastane tudi zaradi novo vgrajene termo izolacije, zaradi katere imajo lahko klimatske naprave v poletnih mesecih bistveno manjšo porabo.

Voda in odpadna voda, eventualno vzdrževanje posebnih elementov, čiščenje, odpadki in urejanje okolice pa po drugi strani povzročajo povsem enake stroške ne glede na stanje, v katerem je obravnavana stavba. Ti stroški so vezani na velikosti različnih površin, število ljudi ali dejavnost, ki se v stavbi izvaja.

Največje skupne stroške kot tudi največje razlike v stroških, glede na izbrano alternativo, bomo beležili pri stroških obnove stavbe kot celote ter stroških ogrevanja. Stroški obnove se dokaj natančno ocenijo na podlagi popisa del, za oceno stroškov ogrevanja glede na izbrano alternativo pa obstaja več računalniških programov, ki to porabo simulirajo oziroma izračunajo.

Za potrebe LCCA v sklopu večkriterijskega modela odločanja bom na podlagi zgoraj naštetih dejstev uporabil klasifikacijo, prikazano na sliki 11.



Slika 11: Klasifikacija življenjskih stroškov za izbrani model odločanja

Figure 11: Life cycle cost classification for the selected decision-making model

4.4 Potrebni podatki za analizo

V prejšnjih poglavjih sem določil podatke, ki jih nujno potrebujem za izvedbo LCCA takšnega obsega, kot je potreben za večkriterijski odločitveni model. Ti podatki so:

- vsi stroški povezani z obnovo stavbe (razen stroški povezani s potresno ojačitvijo),
- nekateri stroški povezani z vzdrževanjem stavbe (splošna nega – vzdrževanje, elektrika, ogrevanje/hlajenje),
- izbrana diskontna stopnja,
- število let, ki jih analiza zajema.

Pri izračunih za posamezne alternative se bodo spreminjali stroški povezani z obnovo in vzdrževanjem analizirane stavbe, podatka o diskontni stopnji in številu let, ki jih analiza zajema, pa bosta vedno enaka.

4.5 Razpoložljiva programska oprema za analizo letnih stroškov

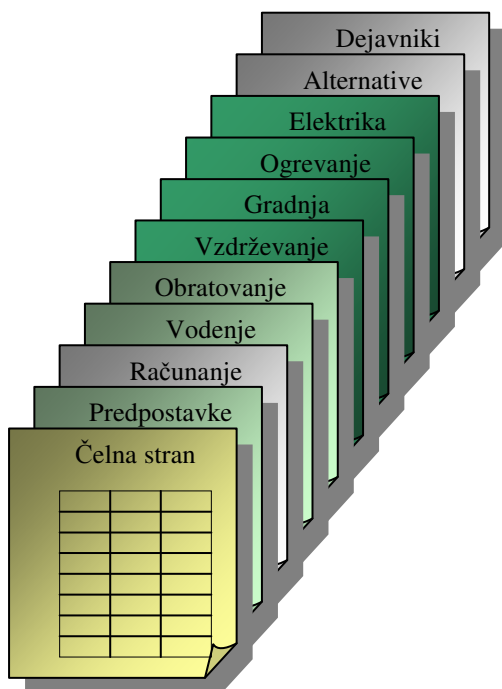
Za izvedbo LCCA je na voljo več orodij, v nadaljevanju pa je predstavljen računalniški program LCProfit, s pomočjo katerega določimo celotne povprečne letne stroške za posamezno stavbo pri vnaprej izbrani diskontni stopnji.

Program se v praksi med drugim uporablja tudi na Gradbenem inštitutu ZRMK d.o.o., kjer je bilo s programom izvedenih že več analiz za različne vrste stavb, rezultati pa so, po besedah zaposlenih, objektivni.

4.5.1 Program LCProfit

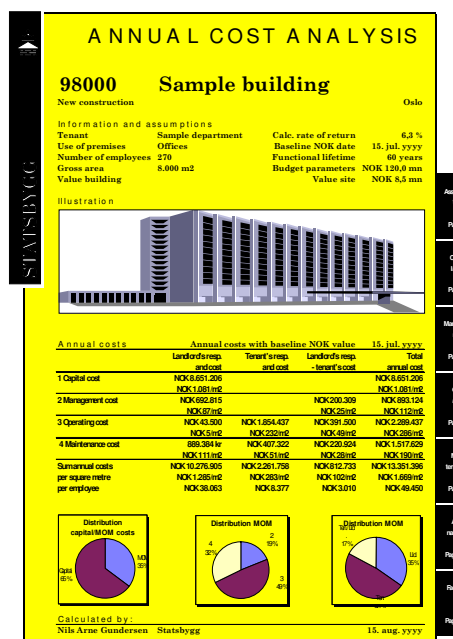
Program LCProfit so razvili na Norveškem (Gundersen, 1998), omogoča pa nam izračune letnih stroškov za posamezna področja obratovanja analizirane stavbe. Zasnovan je tako, da uporabnik vanj vnaša predpostavke o izbrani stavbi, temu pa sledi avtomatski izračun letnih stroškov. Program je uporaben za vse vrste projektov od novogradenj, razširitev in dograditev do prenov.

Program je oblikovan kot Excelova datoteka, ki ga sestavlja enajst področij in so razdeljene po straneh. Na slikah 12 so prikazana posamezna področja izračuna, na sliki 13 pa čelna stran programa.



Slika 12: Sestava programa

Figure 12: Program content



Slika 13: Čelna stran programa

Figure 13: Front page of the program

4.5.1.1 Vnašanje podatkov

Podatke vnašamo v pet od skupno enajst prikazanih področij na sliki 14. Področja vnosa podatkov so:

- Predpostavke (Področje obsega naslednje sklope predpostavk: splošne informacije o stavbi, vrsti gradbenega projekta, lastnikih, osebju, vodstvu, čiščenju, odpadkih, porabi vode in energije ter obrestih.)
- Vzdrževanje (To področje je namenjeno predstavitvi vseh predpostavk, ki smo jih uporabili za področje vzdrževanja. S pomočjo grafov so prikazani vsi stroški povezani z vzdrževanjem.)
- Vzdrževanje stavbe (Področje obsega vse elemente stavbe, njihove sestave, cene povezani z gradnjo oziroma obnovo ter intervale nadomestitve posameznih elementov.)
- Vzdrževanje in uporaba ogrevalnih sistemov (Področje je namenjeno obdelavi vseh stroškov v zvezi s sistemi gretja, prezračevanja in klimatizacije.)
- Vzdrževanje in uporaba električnih sistemov (Področje se v največji meri nanaša na vnesene predpostavke o porabi električne energije, ki smo jih vnesli v področju predpostavk, obsega pa tudi vse podatke o morebitnih stroških povezanih z vzdrževanjem električnih naprav.)

V okviru našega odločitvenega modela moramo za izbrano stavbo izdelati LCCA za vsako posamezno alternativo. Pri tem imamo na razpolago dva načina vnosa podatkov.

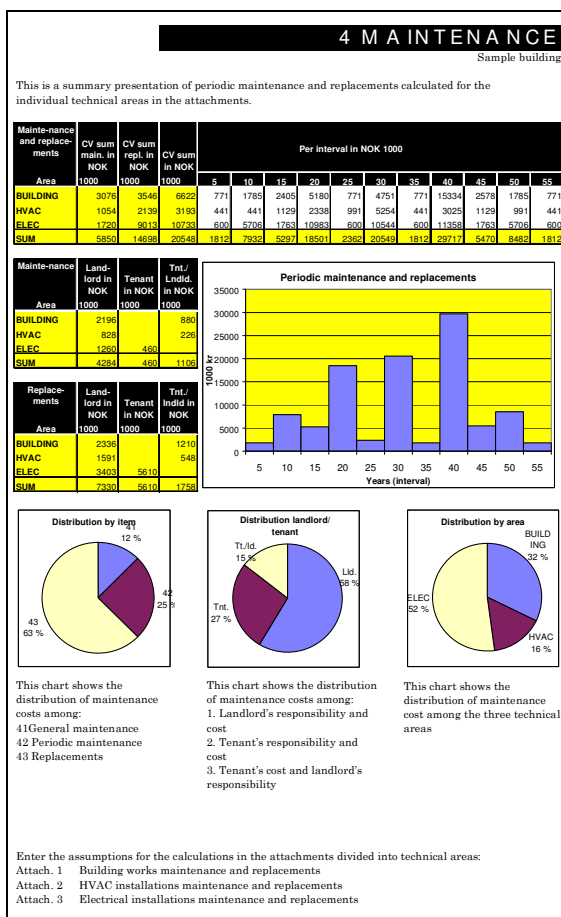
Prvi obsežnejši je, da za vsako alternativo izdelamo popolno analizo z vnosom vseh podatkov. S tem dobimo tudi prikaz celotnih stroškov posamezne alternative za izbrano časovno dobo. Drugi, bolj priporočljiv način pa je, da v program vnesemo le podatke, ki se pri posameznih alternativnih rešitvah razlikujejo (saj moramo v odločitvenem modelu primerjati le razlike med posameznimi alternativami). Določanje teh podatkov je predstavljeno v poglavju 4.3.1 *Upoštevani življenjski stroški v sklopu predlaganega modela* ter slikovno prikazano na sliki 11.

Oba načina dasta v okviru obravnavanega večkriterijskega odločitvenega modela enake rezultate, vendar moramo pri drugem načinu zbrati manjše število podatkov, prvi način vnosa podatkov pa nam da celovito sliko o celotnih stroških za posamezno alternativo. Zaključili bi torej lahko, da v primeru nezahtevnega zbiranja podatkov zberemo vse podatke o stavbi za vse alternative ter izvedemo celovito LCCA, če pa je pridobivanje podatkov težko ali zapleteno, se odločimo le za vnos za analizo nujno potrebnih podatkov.

| ASSUMPTIONS | | | | |
|--|-----------------------|----------------------------------|--|----------|
| Sample building | | | | |
| Note: Enter all costs with a value as per baseline NOK date | | | | |
| Information building | | Information tenant | | |
| Building name | Sample Building | Tenant | Sample department | |
| Location | Oslo | Use of premises | Offices | |
| Building type | Office/admin. bldg. | Number of employees | 270 | |
| Gross area building | 8.000 m ² | Time and interest | | |
| Main building material | Concrete | Baseline NOK date | 15.jul.98 | |
| Functional lifetime | 60 years | Occupancy date (CV date) | 15.okt.00 | |
| Residual value | 0 % | Calculation interest rate | 6,3 % | |
| Assessed valuation/purchase | | Property tax | | |
| Value building | NOK 0,0 mn | Tax rate | 37 % | |
| Start of interest charges | 15.okt.97 | Premium rate | 0,70 % | |
| Value site | NOK 8,5 mn | Water and sewer charges | | |
| Start of interest charges | 15.okt.97 | Average water consumption | 0,6 m ³ /m ² /year | |
| Annual ground rent | NOK 0 | Water charges: | NOK 7,00/m ³ | |
| Construction project | | Sewer charges: | NOK 9,00/m ³ | |
| Project number | 98000 | Subsc. chg./meter rental | NOK 1.500 | |
| Project class | New construction | Value-added tax | 23 % | |
| Budget | NOK 120,0 mn | Waste disposal | | |
| Construction time | 18 mn(s). | Waste prod./empl./year: | 2,6 m ³ | |
| Main burden of payment | 0,65 | Waste dumpster/unit: | 20 m ³ | |
| Oper. staff/operation | | Hire cost dumpster/unit: | NOK 5.000/yr. | |
| Senior engineer | 0,0 | Collection cost per pick-up: | NOK 800 | |
| Works technician | 1,0 | Waste disposal chg. landfill: | NOK 100/m ³ | |
| Head of works | 0,0 | Administration | | |
| Technical works operative | 0,0 | Administration cost: | NOK 30/m ² | |
| Works operator | 0,0 | Energy | | |
| Landlord's share | 10 % | Elec. Energy | 99 kWh/m ² NOK0,400k/Wh | |
| Misc. exp. consumables | NOK 15/m ² | Max. capacity | 150 kW NOK 325/kW | |
| Management | | Elec. charges | NOK0,056k/Wh | |
| Table interval | 5 year(s) | Fixed charges | NOK 3.000/yr. | |
| Incr. for dsgn, VAT, misc. | 25 % | Heat energy | 121 kWh/m ² NOK0,400k/Wh | |
| Replacement incr. | 15 % | Heating source | District heating | |
| Rate periodic maintenance | 50 % | Administration | | |
| Cleaning services | | Cleaning area | Floor surface | Capacity |
| Offices | 5.500 m ² | Linoleum | 350 m ² /hr. | |
| Corridors | 600 m ² | Linoleum | 450 m ² /hr. | |
| Cafeteria | 300 m ² | Linoleum | 300 m ² /hr. | |
| Toilets | 100 m ² | Tile | 120 m ² /hr. | |
| Entry/customer service* | 100 m ² | Tile | 500 m ² /hr. | |
| Work hours per day | 7,50 | Incr. thorough clean./window wsh | 10 % | |
| Work days per year | 260 days | Calculation performance | | |
| Nils Arne Gundersen | | Statsbygg | Date | |
| | | | 15.08.98 | |

Slika 14: List namenjen vnosu predpostavk (program LCProfit)

Figure 14: Page for introducing assumptions (Program LCProfit)



Slika 15: Prikaz stroškov vzdrževanja (program LCProfit)

Figure 15: View of maintenance costs (program LCProfit)

Za boljšo predstavo o obliki in načinu delovanja programa sta na slikah 14 in 15 prikazani dve področji programa in sicer področje za vnos predpostavk ter področje namenjeno predstavitvi stroškov vzdrževanja.

4.6 Vnos rezultatov analize življenjskih stroškov v analizo stroškov in koristi

Program LCProfit vse v izračunu upoštevane stroške že sam diskontira po izbrani diskontni stopnji. Tako s programom dobljena vrednost že predstavlja neto sedanjo vrednost kriterija, ki je v odločitvenem modelu označena kot NPV_{LCCA} .

5 TVEGANJA

Tveganje opredeljujemo na več različnih načinov, odvisno pa je predvsem od namenov in stroke. V splošnem tveganje primerjamo ali ga celo enačimo z nevarnostjo, negotovostjo, verjetnostjo in tudi priložnostjo. Ti pojmi so s tveganjem sicer povezani, ne moremo pa jih z njim kar enačiti (Rek, 2006).

Vrste tveganj, ki vplivajo na podobne metodologije kot je naša, smo našli in v kratkem predstavili že v poglavju 2.2.3.3.1 *Vrste tveganj*. V tem poglavju bodo predstavljene tehnike za kvantifikacijo tveganja ter načini njegovega obvladovanja, v naslednjem poglavju pa bo natančno obdelana za naš odločitveni model najpomembnejša vrsta tveganja. To je okoljsko tveganje, natančneje tveganje potresa in z njim povezane posledice.

5.1 Definicija in opredelitev

Po večini avtorjev lahko povzamemo definicijo tveganja pri vseh vrstah projektov kot: "Projektno tveganje se navezuje na bodoči negotov dogodek, ki lahko v primeru, da se bo zgodil, vpliva (neugodno) na zastavljene cilje, v smislu obsega, kakovosti, časovnih omejitev in stroškov." (Burčar, 2005)

Kvantitativna definicija tveganja obravnava tveganje kot merljivo negotovost, saj tveganje oziroma izpostavljenost tveganju predstavlja produkt med verjetnostjo nastopa tveganega dogodka in velikostjo posledic.

Kvantitativno opredelimo tveganje z izrazom (Carter, 1994):

$$T = V_n \times V_p \quad (7)$$

Pri tem je:

| | |
|-------|--|
| T | izpostavljenost tveganju oziroma jakost tveganja |
| V_n | verjetnost nastopa tveganega dogodka |
| V_p | velikost posledic oziroma vpliva |

Najbolj jasen primer takšne določitve jakosti je potres; na nekem območju moramo poznati

verjetnost, da se bo potres določene (znane) jakosti zgodil, pa tudi velikost posledic, bodisi na celotnem območju ali pa samo za določen objekt.

5.2 Model tveganja

Pojem tveganja je dosti lažje razumljiv s pomočjo modela tveganja (slika 17) in opisa njegovih komponent in karakteristik. S komponentami tveganja se lahko nazorno prikaže mehanizem tveganja. Komponente osnovnega modela tveganja so: vzrok oziroma izvor, dogodek in posledica.



Slika 16: Osnovni model tveganja (Slana, 2006)

Figure 16: Basic risk model (Slana, 2006)

Glavna komponenta tveganja je gotovo negotov dogodek. To je lahko kakršenkoli identificiran dogodek ali naravni pojav, ki se lahko zgodi in s tem vpliva na rezultat posamezne analize. Druga komponenta je posledica, ki je definirana kot rezultat pojavitve dogodka. Posledice vsakega dogodka pa praviloma vplivajo na stroške, čas in/ali kakovost. Tretja komponenta je vzrok (v našem primeru kakovost gradnje). Ta komponenta je ključnega pomena, saj lahko s vplivom na vzrok aktivno upravljamo s tveganjem oziroma natančneje s posledicami. Nekateri avtorji vzrok tveganja nadomeščajo z izvorom tveganja.

V realnih situacijah se večinoma pojavi težava tako pri določanju verjetnosti dogodka kot tudi posledic, ki se jih navadno ne da točno določiti. Iz tega razloga se večinoma določi le neki obsegi vrednosti, v katerih bi se naj nahajali z določeno verjetnostjo. Zaradi negotovosti napovedovanja dogodkov in tudi velikega števila drugih faktorjev, ki so prav tako podvrženi negotovosti, je natančno določanje vrednosti tveganja in njegove posledice zelo težko, če že ne nemogoče. Kljub temu moramo velikost posledic v odvisnosti od vzrokov in dogodkov ovrednotiti, za kar obstajajo različne tehnike.

5.3 Tehnike za kvantifikacijo tveganja

Kvantifikacija oziroma kvantitativna analiza običajno uporablja zapletene modele in tehnike, ki večinoma zahtevajo podporo računalnika. Matematični modeli in različne tehnike analize tveganj sicer ne predstavljajo nujno končne odločitve, kljub temu pa v veliki meri pomagajo pri odločitvah. Na izbor posamezne tehnike vplivajo vrsta projekta, kakovost in količina informacij, izkušnost in sposobnost analitika ter okoliščine (čas analiziranja, zahtevana kakovost rezultatov...) (Radujković, 2000).

Za različne vrste tveganj se uporabljajo različne tehnike kvantitativne analize, najpogostejše pa so:

1. Premija za tveganje

To je zelo enostavna metoda. Ocenijo se sredstva, potrebna za pokritje morebitnih posledic tveganja. V gradbenih projektih se metoda premije dokaj pogosto uporablja.

2. Pričakovana denarna vrednost

Metoda temelji na produktu verjetnosti tveganja in velikost posledic. Večinoma se uporablja za nadaljnje analize, na primer pri drevesu odločanja.

3. Analiza z odločitvenim drevesom

Drevo odločanja opisuje obravnavano odločitev in posledice izbire ene ali druge možne alternative. Prikazuje vsako možno izbiro in možen potek dogodkov. Predstavlja torej različne poti, po katerih lahko pridemo do cilja in nudi grafično pomoč pri povezovanju informacij. Pri samem postopku je najprej potrebna razčlenitev problema, nakar se ocenijo verjetnosti tveganj in posledice, da lahko izmed vseh možnosti izberemo optimalno rešitev. Ta metoda je uporabna zlasti pri projektih z medsebojno odvisnimi vzroki tveganja in v nezanesljivih pogojih in okoljih. Ponavadi se uporablja za proučevanje stroškov. Uporabljajo jo izvajalci pri izbiri metod gradnje, pa tudi investitorji, ko se odločajo o novih investicijah.

4. Analiza občutljivosti

Poskuša prikazati učinek spremembe posamezne spremenljivke na rezultat analize. Ocenjuje se sprememba rezultata glede na spreminjanje določene spremenljivke, ki ima podan razpon vrednosti. Ta metoda se uporablja zlasti za spremenljivke, ki imajo precejšen vpliv na čas in

stroške. Pomaga določiti spremenljivko, ki ima največji vpliv na celotno analizo, odločitveni model ali projekt. Pomanjkljivosti te metode so omejene možnosti analiziranja delovanja več spremenljivk hkrati.

5. Analiza verjetnosti

Omejenost in pomanjkljivosti analize občutljivosti nadgrajuje analiza verjetnosti tako, da točno določa verjetnostno porazdelitev za vsako spremenljivko in nato proučuje situacije v katerih lahko vsaka ali vse spremenljivke istočasno menjajo svoje začetne vrednosti. Večinoma se zaradi pomanjkanja statističnih podatkov priporoča risanje enostavnih porazdelitvenih krivulj za obseg, ki ga spremenljivki določimo. Za razpone za številne časovne in stroškovne elemente z večjo verjetnostjo je bolje, da se nagibajo proti prekoračitvam. Analiza verjetnosti se lahko, odvisno od uporabljenega mrežnega modela in zahtevanih rezultatov, izdela samo za čas, samo za stroške ali povezano za vse. Pri slednjem je razpon vrednosti prikazan za porabljen čas, stroške in celo sredstva (Perry in Hayes, 1985).

6. Simulacija

Simulacija je stohastično odločanje s primerjavo probabilističnih rezultatov. Najbolj zastopana je metoda Monte Carlo, ki je osnovana na enostavni metodi verjetnostnih podatkov in je dokaj učinkovita. Na enostaven način je postopek metode Monte Carlo predstavil Rodošek (1985).

7. Računalniški programi

Ob pravilni uporabi so zelo zanesljivi in primerni za različne analize tveganj. Z njihovo pomočjo lahko uporabljamo tudi kombinacijo več metod hkrati.

Tehnik analize različnih vrst tveganj je torej precej, med njimi pa se za uporabo točno določene tehnike odločimo glede na:

- vrsto, velikost in naravo projekta,
- vrsto tveganja,
- razpoložljive podatke,
- okoliščine in druge zunanje pogoje,
- naše znanje in sposobnosti.

Razpoložljivih podatkov o obsegu posledic potresa na posameznem objektu, v odvisnosti od jakosti potresa in kvalitete gradnje, je zelo malo, zaradi česar se lahko poslužujemo le enostavnejših metod. Za oceno potresnega tveganja sta tako najprimernejši tehniki verjetno premija za tveganje in pričakovana denarna vrednost. Ker želimo v razvoju večkriterijskega modela odločanja vse kriterije ovrednotiti z denarnimi vrednostmi, bo za analiziranje stroškov povezanih s potresnim tveganjem uporabljena tehnika *pričakovane denarne vrednosti*.

5.4 Odziv na tveganje

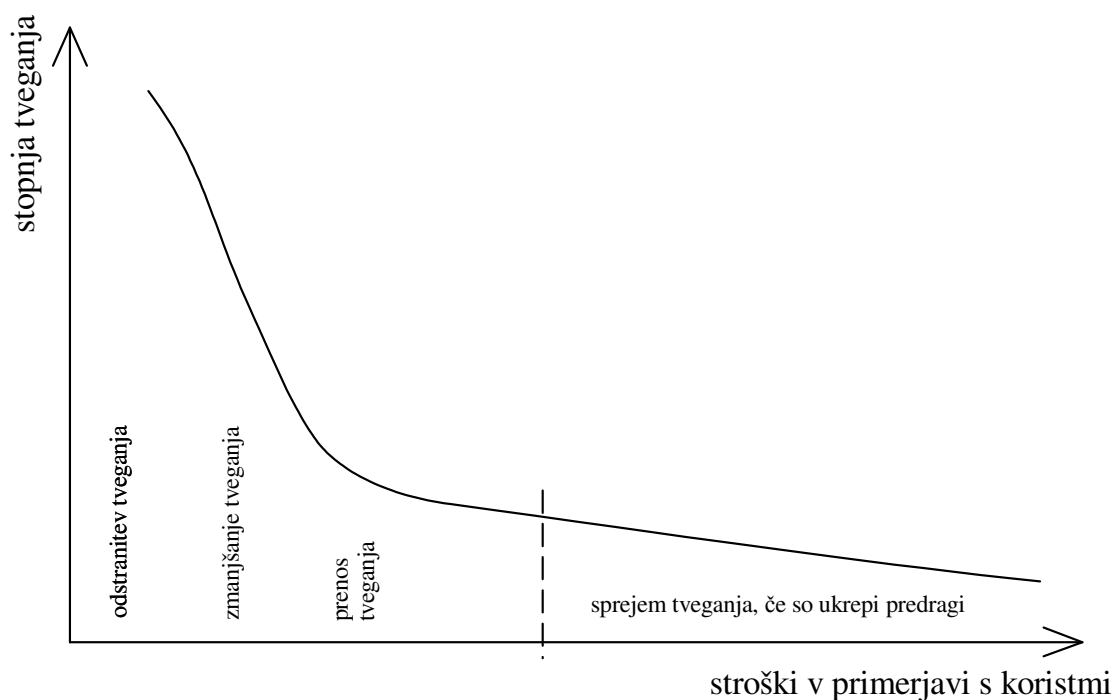
Namen planiranja odzivov na vse vrste tveganj je določitev možnosti zmanjšanja negativnih vplivov. Za pričetek planiranja odziva na posamezno vrsto tveganja potrebujemo podlago, ki jo pridobimo s kvalitativno in kvantitativno analizo. Lahko pa se možni odzivi odkrivajo že tekom analiziranja tveganja.

Odzivi na tveganje oziroma ukrepi zmanjševanja tveganj in njihovih vplivov so povezani s stroški, ki so pri večjih posledicah večji. Pomembno je tudi kdaj v življenjskem ciklu objekta se odzovemo na tveganje. Običajno pomeni zgodnji odziv na tveganje nižji strošek.

Pri modeliranju odziva tveganju imamo v splošnem na razpolago tri možnosti:

- pravočasno prepoznati, se izogniti ali vsaj omiliti delovanje rizika,
- preusmeriti tveganje na drug subjekt,
- prevzeti tveganje in eventualno izgubo (Radujković, 2000)

Najugodnejša rešitev je gotovo, da tveganje pravočasno spoznamo in se mu imamo posledično možnost izogniti. Druga skrajnost pa bi bila sprejem tveganja brez uvedbe kakršnihkoli ukrepov za ublažitev morebitnih posledic tveganja. To sta seveda oba ekstremna primera, v realnosti pa se večinoma nahajamo nekje med njima. Pri izbiri ukrepov za omilitev tveganj si največkrat pomagamo s primerjanjem stroškov in koristi za posamezen ukrep. Na sliki 17 je prikazana krivulja, ki prikazuje, kdaj glede na stopnjo tveganja in stroške v primerjavi s koristmi, določeno tveganje sprejmemo, prenesemo (če je to mogoče), zmanjšamo ali odstranimo.



Slika 17: Priporočljivi odzivi tveganja glede na stopnjo tveganja in stroške v primerjavi s koristmi (Burke, 1999)

Figure 17: Recommended responses to risk with respect to the degree of risk and costs in comparison to the benefits (Burke, 1999)

Tudi v našem primeru bo odziv na (potresno) tveganje odvisen od stopnje tveganja ter stroškov zmanjšanja tveganja v primerjavi s predvidenimi koristmi. Tako bomo v primeru obravnavanja stavbe, ki leži na potresno manj aktivnem območju, tveganje pojava potresa verjetno sprejeli. Do potresov pride na takih območjih redko, nizka je tudi njihova intenziteta. Stroški zmanjšanja tveganja bi bili zato v konkretnem primeru višji od koristi, ki bi jih bili zaradi ojačitev stavbe deležni v primeru potresa. Pri stavbah, ki stoji na potresno aktivnem območju, pa se bomo skoraj gotovo odločili obratno. Potresna ojačitev take stavbe se bo v sklopu analize (ter najverjetneje v nedoločeni prihodnosti tudi dejansko) izkazala kot dobra odločitev.

6 ANALIZA STROŠKOV IZBOLJŠANJA POTRESNE VARNOSTI

Slovenija leži v aktivnem sredozemskem seizmičnem območju, kjer prihaja do močnih potresov. Po seizmoloških kartah lahko pride v časovnem obdobju 500 let do potresa z intenziteto 7 ali več praktično na celem ozemlju Slovenije. To z drugimi besedami pomeni, da na celotnem območju Slovenije obstaja 10% verjetnosti, da se bo tak potres zgodil v 50 letih, kar predstavlja življenjsko dobo nekaterih gradbenih objektov in le del življenjske dobe večine gradbenih objektov (Fajfar, 1995).

Iz zgoraj zapisanega citata je povsem jasno, da mora večkriterijski odločitveni model za izbiro ukrepov pri obnovi stavb, ki naj bo uporaben za Slovenijo, kot kriterij nujno vsebovati tudi analizo stroškov izboljšanja potresne varnosti. Čeprav potresi nastopijo dokaj redko, jih zaradi njihovih potencialno zelo obsežnih posledic preprosto moramo upoštevati.

Do potresnega tveganja in z njim povezane potencialne škode pride, kadar objekt nima zadostne potresne varnosti. Kolikšna je zadostna potresna varnost, ki bi v primeru potresa preprečila nastanek večje škode, je odvisno od lokacije, na kateri je objekt zgrajen. To poglavje zato obravnava dejansko potresno odpornost stavbe, določanje zahtevane potresne varnosti v odvisnosti od projektnih pospeškov temeljnih tal ter ocenjuje višino stroškov izboljšanja potresne varnosti in potencialno škodo v odvisnosti od teh faktorjev.

6.1 Pregled literature s področja analize stroškov in koristi izboljšanja potresne varnosti

Med dokaj obsežno količino literature, ki s pomočjo analize stroškov in koristi obravnava različne vidike obnove gradbenih objektov, je število objav, ki obravnavajo izboljšanje potresne varnosti stavb, dokaj majhno. Prispevki večinoma obravnavajo stavbe in druge gradbene objekte v državah, ki so potresno bolj ogrožene, in iščejo načine, ki bi različne tipe gradbenih objektov potresno ojačili z omejenimi finančnimi sredstvi. Iščejo se praviloma enostavne rešitve za konstrukcijske ojačitve, ki so izvedljive z relativno majhnimi stroški. Pri tovrstnih primerih se ob koncu analize ugotavlja razmerje med vloženimi stroški v sanacijo objekta ter potencialnimi koristmi, ki jih bo posamezen objekt zaradi ojačitev deležen. O

potencialnih koristih se govori zaradi dejstva, ker potres ni gotov pojav, do koristi zaradi konstrukcijskih ojačitev objekta pa pride le v primeru pojave potresa. Preprostejše metode potencialne koristi sicer kar enačijo z dejanskimi koristmi, medtem ko bolj razviti modeli upoštevajo verjetnost pojava potresa posamezne intenzitete (Smyth in soavt., 2004).

Med pregledano literaturo področje potresnih ojačitev stavb zelo natančno in sistematično obravnava delo "A Benefit/Cost Ratio for the Seismic Rehabilitation of Existing Reinforced Concrete Buildings in Izmir" (Boylu, 2005). Delo sicer obravnava izključno armiranobetonske stavbe, ki so tipične za turško mesto Izmir, vendar so nekatere v nalogi navedene in uporabljene metode primerne tudi za obravnavanje drugih vrst stavb na drugih lokacijah.

Z vprašanjem koristnosti potresnega ojačevanja obstoječih stavb v deželah v razvoju se že daljše obdobje ukvarja tudi Svetovna banka. Pred kratkim je bila natančnejša študija (Ghesquiere in soavt., 2006) narejena za glavno mesto Kolumbije Bogoto, ki jo je v zadnjih 25 letih streslo kar šest močnejših potresov. V jedru te študije, ki temelji na probabilistični CBA, avtorji obravnavajo škodo, ki bi nastala na posameznih vrstah stavb v primeru potresa. Pri izračunih upoštevajo dejstvo, da potres ni gotov dogodek in probabilistično ocenijo verjetnost, da bo do potresa določene stopnje prišlo.

Med dostopno literaturo najbolj natančno in razčlenjeno obravnava analizo stroškov in koristi, povezano s potresno ojačitvijo stavb, delo "Seismic Rehabilitation of Federal Buildings: A Benefit/Cost Model" (FEMA, 1994). Metodologija, ki jo je razvila Ameriška zvezna agencija za upravljanje z naravnimi nesrečami (ang. Federal Emergency Management Agency - FEMA), je zaradi svoje sistematičnosti, pregleda in obravnavanja vseh stroškov oziroma koristi, povezanih s potresnim tveganjem, kot tudi možnosti uporabe v prihodnosti (trenutno je problem pomanjkanje večine za analizo potrebnih podatkov), v nadaljevanju povzeta v celoti.

6.1.1 Metodologija agencije FEMA

Model, ki ga je razvila FEMA, predstavlja klasično analizo stroškov in koristi, pri čemer je velik del modela namenjen določanju koristi. Cilj modela je določiti pričakovano neto sedanjo

vrednost stavbe zaradi konstrukcijskih ojačitev. Pojem "pričakovana" je uporabljen zaradi negotovih (oziroma težko določljivih) koristi, ki bi jih zaradi konstrukcijskih ojačitev bili deležni v primeru potresa. Potresi se namreč dogajajo dokaj redko in povsem možno je, da do močnejšega potresa v življenjski dobi posamezne stavbe ne bo prišlo.

FEMA sicer opozarja, da je najpomembnejši cilj zvišanja potresne odpornosti stavb preprečevanje smrtnih žrtev in poškodb med prebivalstvom, zmanjševanje gmotne škode pa je na drugem mestu.

Denarno vrednotenje človeškega življenja je etično sporno (Myers, 2004) in bi po mnenju agencije moralo biti deležno razprave širše javnosti, zato glede tega vprašanja splošen konsenz še ni bil sprejet. V kolikor bo vrednost človeškega življenja v prihodnosti določena, bo izjemno močno vplivala na vse analize stroškov in koristi. Študije agencije sicer kažejo, da naj bi se vrednost človeškega življenja v letu 1992 gibala med enim in osmimi milijoni dolarjev (FEMA, 1992). Agencija v svoji analizi stroškov in koristi človeških žrtev, zaradi izjemne občutljivosti teme kot tudi etičnosti na splošno ne zajema.

Pričakovana neto sedanja vrednost, povezana z investicijami v povečanje potresne varnosti posameznega objekta, je izračunana kot vsota vseh koristi, ki so pričakovane v času, ki ga analiza zajema, ki ji odštejemo začetno investicijo v konstrukcijske ojačitve:

$$NPV = -INV + \frac{B_1}{1+d} + \frac{B_2}{(1+d)^2} + \dots + \frac{B_T}{(1+d)^T} + \frac{V_T}{(1+d)^T} \quad (8)$$

Pri tem je:

| | |
|-------|--|
| NPV | neto sedanja vrednost |
| INV | investicije v zvišanje potresne varnosti |
| B_T | pričakovane letne koristi zaradi začetne investicije |
| V_T | sprememba vrednosti objekta v letu T (zadnjem letu) zaradi začetne investicije |
| T | čas analize v letih |
| d | diskontna stopnja |

V tem modelu je predpostavljeno, da so vsakoletne koristi, ki so diskontirane na neto sedanjo vrednost, pred diskontiranjem enake. Investicija v zvišanje potresne odpornosti objekta

zajema projektiranje, izvedbo del in druge (indirektne) stroške (npr. študije, strokovna mnenja), ki bi pri tej investiciji nastale. Čas, ki naj bi ga zajemala analiza, je poljuben, vendar ne večji kot 50 let, diskontna stopnja pa se giblje med 3 do 6%. Agencija sicer opozarja, da je določitev primerne diskontne stopnje izjemno pomembna in eden izmed težje določljivih podatkov. Ker so pričakovane koristi vsako leto konstantne, lahko vsoto členov pričakovanih letnih koristi in s tem pričakovano neto sedanjo vrednost zapišemo tudi kot:

$$NPV = -INV + B_T \left[\frac{1 - (1+i)^{-T}}{d} \right] + \frac{V_T}{(1+d)^T} \quad (9)$$

Pričakovane letne koristi zaradi zvišanja potresne varnosti so definirane kot vsota vseh škod, ki naj bi se jim v enem letu izognili ob pričakovani verjetnosti pojava potresa določene jakosti. Koristi zajemajo preprečeno škodo na stavbah, izgubo najemnin, stroške selitev, izgubljene dohodke posameznikov ali podjetij zaradi neuporabe objekta, izgubo inventarja objekta in izgubo osebnega imetja. Pričakovane letne koristi v obliki formule zapišemo:

$$B_T = \sum_{m=VI}^{XII} EAE^m \left[\sum_{s=1}^S \sum_{f=1}^F BD_{sf}^m + RT_{sf}^m + REL_{sf}^m + Y_{sf}^m + INV_{sf}^m + PP_{sf}^m \right] \quad (10)$$

Pri tem je:

| | |
|--------------|--|
| EAE^m | pričakovano letno število potresov intenzitete od VI do XII stopnje po MMI ¹ |
| BD_{sf}^m | preprečena škoda na objektih v odvisnosti od vrste objekta in stopnje MMI |
| RT_{sf}^m | preprečena letna izguba najemnin v odvisnosti od vrste objekta in stopnje MMI |
| REL_{sf}^m | preprečeni stroški selitve v odvisnosti od vrste objekta in stopnje MMI |
| Y_{sf}^m | preprečeni izgubljeni dohodki posameznikov/podjetij v odvisnosti od vrste objekta in stopnje MMI |
| INV_{sf}^m | preprečena izguba inventarja v odvisnosti od vrste objekta in stopnje MMI |
| PP_{sf}^m | preprečena izguba osebnega premoženja v odvisnosti od vrste objekta in stopnje MMI |
| s | družbena funkcija objekta |
| f | vrsta gradnje objekta |

¹ modificirana Mercallijeva lestvica

FEMA smatra, da je potrebno pričakovano preprečeno škodo na objektu in preprečene izgube v zvezi z objektom v primeru potresa določiti posebej za vsako kombinacijo družbene funkcije objekta S (ang. *social function*) in vrste gradnje objekta F (ang. *facility classification*).

Preprečena škoda na objektu je odvisna oziroma se določi z izrazom:

$$BD_{sf}^m = FA_{sf} \cdot RV_{sf} \cdot MDF_f^m \cdot ERE_f^m \quad (11)$$

Pri tem je:

| | |
|-----------|---|
| FA_{sf} | površina objekta |
| RV_{sf} | vrednost nadomestnega objekta na kvadratni meter |
| MDF_f^m | faktor povprečne škode v odvisnosti od vrste gradnje objekta in MMI |
| ERE_f^m | pričakovana učinkovitost konstrukcijske ojačitve v odvisnosti od vrste gradnje objekta in MMI |

Za vrednost nadomestnega objekta (RV_{sf}) upoštevamo tisto vrednost, ki bi jo potrebovali, da zgradimo objekt enake funkcije, velikosti in kakovosti. Z upoštevanjem tega pogoja bi bila vrednost gradnje kvadratnega metra bolnišnice (zaradi drugačnih standardov, na primer higienskih) bistveno dražja kot izgradnja kvadratnega metra šole in to kljub temu, da bi v obeh primerih gradili z enako tehnologijo enako velik objekt. Faktor povprečne škode (MDF_f^m) je odvisen od vrste objekta (npr. zidan ali betonski), njegove višine in temeljnih tal. Višji kot je objekt in mehkejša kot so temeljna tla, večja je škoda na objektu pri določeni intenziteti potresa.

Izračun letne izgube najemnin temelji na "pričakovanem času, v katerem objekt ne bo moral opravljati svoje funkcije". Potres lahko poškoduje stavbo do mere, ko ta ni več primerna za izvajanje izbrane dejavnosti ali za bivanje ter jo je nujno potrebno popraviti. V času takih popravil se najemnine ne more pobirati, lahko pa pride v tem primeru tudi do dodatnih stroškov, kot je začasna selitev dejavnosti na drugo lokacijo. Preprečena povprečna letna izguba najemnin se oceni s pomočjo izraza:

$$RT_{sf}^m = FA_{sf} \cdot RR_{sf} \cdot LOF_f^m \cdot ERE_f^m \quad (12)$$

Pri tem je:

RR_{sf} najemnina na kvadratni meter na dan v odvisnosti od vrste objekta
 LOF_s^m neuporabnost objekta v dnevih v odvisnosti od družbene funkcije objekta in MMI

Za določanje višine najemnine za kvadratni meter objekta (RR_{sf}) ter pričakovanega števila dni, ko objekt zaradi odpravljanja poškodb ne bo v uporabi (LOF_s^m), ima FEMA za določena potresna območja na voljo zadovoljivo količino statističnih podatkov, s katerimi lahko določi vrednosti iskanih faktorjev.

Do stroškov zaradi selitve pride v primerih, ko zaradi poškodb kot posledic potresa objekt potrebuje popravila, med katerimi ni mogoče izvajanje funkcij, ki so se opravljale v objektu pred potresom. Stroški selitve se določajo na podoben način kot stroški izpada najemnin in sicer:

$$REL_{sf}^m = FA_{sf} \cdot RC_s \cdot LOF_f^m \cdot ERE_f^m \quad (13)$$

Pri tem je:

RC_s stroški selitve na kvadratni meter v odvisnosti od družbene funkcije objekta

Izpad dohodka je neposredno odvisen od vrste in velikostnega obsega dejavnosti, ki se dogaja v obravnavanem objektu. Izpad dohodka se pojavi v času, ko v objektu ni mogoče opravljati izbrane dejavnosti. Preprečen izpad dohodka kot posledica ojačitve objekta je:

$$Y_{sf}^m = FA_{sf} \cdot INC_s \cdot LOF_f^m \cdot ERE_f^m \quad (14)$$

Pri tem je:

INC_s dohodek na kvadratni meter na dan

Velikostni red izgube inventarja (s tem izrazom imamo v mislih vse premične predmete, ki niso sestavni deli stavbe) je odvisen izključno od vrste dejavnosti oziroma družbene funkcije, ki se v objektu opravlja. Ostali dejavniki, ki vplivajo na višino škode, imajo iste vrednosti ne glede na vrsto dejavnosti. Preprečene izgube inventarja se izračuna:

$$INV_{sf}^m = FA_{sf} \cdot SALES_s \cdot BI_s \cdot MDF_f^m \cdot ERE_f^m \quad (15)$$

Pri tem je:

$SALES_s$ letna bruto prodaja ali proizvodnja

BI_s odstotek prodaje ali proizvodnje, ki ga inventar predstavlja ali zagotavlja

Skoraj v vseh stavbah imajo ljudje, podjetja ali organizacije tudi osebno lastnino. Kot osebna lastnina se v sklopu izračuna poleg lastnine oseb, kot so slike ali obleke, upoštevajo tudi klimatske naprave, pisarniške mize, stoli in drugi predmeti, ki se smatrajo kot osebna imovina stavbe in z njo povezane dejavnosti. Sicer ne moremo oceniti njihovega učinka na prodajo oziroma dohodek določene dejavnosti, vendar pa so nujno potrebni za primerno in učinkovito obratovanje.

FEMA je ocenila količino tako definiranega osebnega premoženja v stavbah v odvisnosti od vrste dejavnosti, ki se opravlja ter s tem povezane osebne lastnine, ki jo objekt vsebuje. Rezultati teh ocen so predstavljeni v preglednicah, iz katerih odčitamo odstotke vrednosti osebne lastnine glede na celotno vrednost objekta. Ocena je določena kot:

$$PP_{sf}^m = FA_{sf} \cdot RV_{sf} \cdot PPROP_s \cdot MDF_f^m \cdot ERE_f^m \quad (16)$$

Pri tem je:

$PPROP_s$ osebna lastnina kot odstotek vrednosti nadomestne gradnje

Po izračunu vseh vrednosti letno preprečenih škod (z upoštevanjem verjetnosti pojavitve posamezne intenzitete potresa) se te seštejejo, kot je prikazano v preglednici 3. Preglednica je vzeta iz literature (Boylu, 2005), kjer je bila obravnavana metodologija uporabljena na konkretnem primeru.

Temu izračunu sledi analiza stroškov in koristi v obliki določitve neto sedanje vrednosti objekta s pomočjo enačbe 9. V analizi se poleg izračunanih pričakovanih letnih koristi upošteva še začetna investicija v ojačitev objekta, višja vrednost objekta zaradi izvedenih ojačitev po preteku časa, ki ga analiza upošteva in diskontna stopnja. Končni rezultat je nato navadno podan v tabelarni obliki, kot je prikazano v preglednici 4. V prikazanem primeru (Boylu, 2005) naj bi bile pričakovane koristi pri privzeti diskontni stopnji (ta je bila v izračunu 4%), kar štiriindvajsetkrat večje od stroškov, povezanih z ojačitvijo objekta. Osebno sodim, da so bile v konkretnem izračunu uporabljene previsoke verjetnosti za pojav potresa, saj je bila verjetnost vsakoletne pojavitve potresa VI. in VII. stopnje po MMI označena kot

gotov dogodek. S tem so vsakoletne pričakovane koristi v izračunu za VI. in VII. stopnjo potresa močno precenjene. Sam postopek izračuna sicer ni sporen.

Preglednica 3: Primer pričakovanih letnih koristi zaradi konstrukcijske ojačitve stavbe
(Boylu, 2005)

Table 3: An example of expected annual benefits from structural reinforcements (Boylu, 2005)

| Vrednosti letno preprečenih škod v novih turških lirah | | | | |
|--|--|--|-----------------------------------|-------------------------------|
| OBJEKT | Tontos BEBE (pet nadstropna armiranobetonska veleblagovnica) | | | |
| MMI | poškodbe stavbe | izgubljeni prihodki najemnin | stroški selitve | izguba dohodka |
| | (nadomestitvena vred. x faktor povprečne škode) | (vrednost najemnin x čas brez najemnin) | (stroški selitve x čas neuporabe) | (dohodki x čas neobratovanja) |
| VI | 9.464,23 | 0,00 | 668,23 | 2.623,95 |
| VII | 19.656,50 | 0,00 | 2.374,19 | 9.322,74 |
| VIII | 2.110,60 | 0,00 | 581,75 | 2.284,37 |
| IX | 1.499,60 | 0,00 | 752,57 | 2.955,12 |
| X | 414,70 | 0,00 | 306,93 | 1.205,22 |
| XI | 0,00 | 0,00 | 0,00 | 0,00 |
| skupaj | 33.145,63 | 0,00 | 4.683,67 | 18.391,40 |
| MMI | službeni inventar | osebna lastnina | skupna preprečena izguba | |
| | (vrednost inventarja x faktor povprečne škode) | (vrednost lastnine x faktor povprečne škode) | | |
| VI | 15.918,60 | 851,80 | 29.526,81 | |
| VII | 33.061,80 | 1.796,00 | 66.184,23 | |
| VIII | 3.549,97 | 189,95 | 8.716,64 | |
| IX | 2.522,40 | 134,96 | 7.864,65 | |
| X | 697,56 | 37,32 | 2.661,73 | |
| XI | 0,00 | 0,00 | 0,00 | |
| skupaj | 55.750,33 | 3.010,03 | 114.954,06 | |

Preglednica 4: Primer končnega rezultata analize stroškov in koristi za posamezno stavbo
(Boylu, 2005)

Table 4: An example of the final outcome of a cost-benefit analysis for a selected building
(Boylu, 2005)

| | | |
|--|------------|------|
| LETNE KORISTI | 32.643,70 | YTL. |
| SEDANJA VREDNOST VSEH LETNIH KORISTI | 701.251,96 | YTL. |
| STROŠKI OJAČITVE V PRVEM LETU | 29.417,11 | YTL. |
| SEDANJA VREDNOST ZAČ. INVESTICIJE V ZADNJEM LETU | 414,78 | YTL. |
| SEDANJA VREDNOST STROŠKOV | 29.022,33 | YTL. |
| KORISTI - STROŠKI | 672.229,63 | YTL. |
| KORISTI / STROŠKI | 24,16 | YTL. |

Kot lahko vidimo, je agencija FEMA izdelala zelo natančen izračun za vso neposredno in posredno škodo, ki bi se ji v primeru potresa izognili, če bi objekt še pred njegovim pojavom ustrezno ojačili. Taka natančnost postopka izračuna je sicer lahko zavajajoča, saj posledično pričakujemo zelo natančne rezultate analize, ki pa delno temeljijo na predvidevanjih.

Podatek, ki najbolj vpliva na celoten izračun, je verjetnost pojava potresa določene intenzitete. Analiza občutljivosti za ta podatek kaže (izvedel sem več testnih izračunov, v sklopu katerih sem spreminjal posamezne vhodne podatke), da se z variiranjem vrednosti podatka za deset odstotkov končni rezultati obravnavane analize med seboj razlikujejo v večkratnikih in ne v odstotkih. Pri določanju tega podatka je zato potrebno biti zelo previden in seveda objektivni, saj je z njim možno končne rezultate močno prikrojiti željam posameznika.

Koristnost ali primernost protipotresnega ojačevanja različnih vrst objektov obravnava poleg že omenjenega poročila večje število tujih avtorjev in organizacij. Njihova dela so si tako pri določanju relevantnih kriterijev za analizo, obsegu in poudarkih kot tudi po strokovnosti izjemno različna. Pri oblikovanju lastnega pogleda na obravnavano temo moramo tako sami presoditi, kateri avtorji oziroma njihova literatura podaja objektivne in uporabne informacije.

6.2 Določanje potresne odpornosti stavbe

Za določanje potresne odpornosti posamezne stavbe so nam na voljo različne metode. Odločitev za uporabo posamezne metode je odvisna od zahtevane natančnosti analize, vrste in značilnosti obravnavane stavbe ter od izkušenj in zaupanja ocenjevalca v svojo presojo. Enostavnejše metode imajo določene omejitve, saj dajejo manj zanesljive rezultate, uporabljajo jih načeloma le bolj izkušeni inženirji, vendar so zelo hitre. Pri natančnejših metodah imamo z izračuni navadno precej dela, vendar so rezultati bistveno bolj natančni in zanesljivi.

Naš cilj je pri uporabi katerekoli metode enak, določiti dejansko potresno odpornost stavbe oziroma njen koeficient, ki se v skladu z evropskim standardom Eurocode 8 označuje kot SRC (ang. Seismic Resistance Coefficient). Izbira metode, s katero do koeficienta pridemo, je prosta.

V nadaljevanju je na kratko predstavljenih več metod, ki so povzete po raziskovalni nalogi *Pregled metod za ocenjevanje potresnega tveganja* (Fajfar, 2003).

6.2.1 Metode s hitrim ogledom

Metode s hitrim ogledom so najbolj približne metode. Temeljijo na vizualni oceni karakteristik nosilnih elementov in posameznih značilnosti konstrukcije, za katere je znano, da vplivajo na potresno odpornost stavbe. Končni rezultat je ocena potresne ogroženosti stavbe, ki je bodisi vsota uteženih delnih ocen bodisi skupek delnih ocen. Zaradi večje preglednosti so rezultati pogosto prikazani v grafični obliki. Ker te metode v svoji osnovni obliki temeljijo na zelo konzervativnih parametrih, je bil osnovni namen tovrstnih hitrih metod predvsem hitra identifikacija potresno odpornih stavb, ki se jih lahko izloči iz nadaljnje obravnave in potresno zelo neodpornih stavb, ki zahtevajo nadaljnje ukrepanje.

Za čimbolj zanesljivo oceno so bistvenega pomena ustrezno šolani ocenjevalci. Osnovno znanje s področja potresnega inženirstva je pri konkretnih primerih nujno za prepoznavanje karakteristik, ki vplivajo na obnašanje stavb med potresi. Pomembno je tudi primerno

rangiranje posameznih prepoznanih karakteristik (točkovanje v razponu od "ima majhen vpliv" do "ima zelo pomemben vpliv").

Splošne zahteve za metode s hitrim ogledom so:

- Uporabnost za vse tipe konstrukcij.
- Ocena mora biti tudi kvantitativna, ne samo potresno odporno/potresno neodporno.
- Ocena ne sme biti preveč splošna, relacije s parametri morajo biti jasne in nedvoumne.
- Potresna obtežba mora biti jasno definirana v znanih fizikalnih enotah (npr. m/s^2).
- Pregleden obrazec, ki omogoča enostavno identifikacijo, opis vseh parametrov, prikaz slik in skic,...
- Sistematični in nedvoumni kriteriji.
- Realna identifikacija posameznih tipov neregularnosti konstrukcije.
- Računski postopek, ki vodi do končne ocene potresne ogroženosti stavbe, mora biti enostaven in hiter.
- Čim bolj natančna določitev leta izgradnje in stanja stavbe.
- Ustrezna strokovna usposobljenost ocenjevalcev.

Večina teh zahtev seveda velja tudi za bolj natančne metode ocenjevanja.

6.2.1.1 ZDA

Ameriška zvezna agencija za upravljanje z naravnimi nesrečami (FEMA) ima izdelano dokaj natančno metodo s hitrim ogledom. Metoda je natančno opisana v njihovi dokumentaciji, ki je dostopna tudi preko interneta in nosi oznako ATC-21 in ATC-21-1 ([http://www.its.caltech.edu/~keithp/Porter/et/al/\(1993\)/Training/Local/Officials/in/Rapid/Visual/Screening.pdf](http://www.its.caltech.edu/~keithp/Porter/et/al/(1993)/Training/Local/Officials/in/Rapid/Visual/Screening.pdf)).

Postopek je prirejen tako, da ne zahteva nobene analize konstrukcij. Za čimbolj učinkovito oceno so dani podrobni opisi vseh pomembnejših parametrov, ki vplivajo na potresno odpornost konstrukcij. Ocena potresne ogroženosti se določa na osnovi posebnega sistema točkovanja karakteristik konstrukcije in potresne cone.

Obrazec za oceno s hitrim ogledom je prikazan na sliki 18. Zasnovan je tako, da je primerna

za rabo na terenu in se izpolnjuje s čim manj pisanja, saj se večina ugotovitev lahko enostavno obkroži.

| ATC-21/ (NEHRP Map Areas 3,4, Moderate) | | STRUCTURAL SCORES AND MODIFIERS | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------|---|------|------|------|------|------|------|------|-------|------|------|------|------|
| Rapid Visual Screening of Seismically Hazardous Buildings | | | | | | | | | | | | | | |
| <div style="border: 1px dashed black; width: 100%; height: 100%;"></div> | | INSTANT PHOTO | | | | | | | | | | | | |
| | | (Peel-off label) | | | | | | | | | | | | |
| | | Address _____ Zip _____ | | | | | | | | | | | | |
| | | Other Identifiers _____ | | | | | | | | | | | | |
| | | No. Stories _____ Year Built _____ | | | | | | | | | | | | |
| | | Inspector _____ Date _____ | | | | | | | | | | | | |
| | | Total Floor Area (sq. ft) _____ | | | | | | | | | | | | |
| | | Building Name _____ | | | | | | | | | | | | |
| | | Use _____ | | | | | | | | | | | | |
| | | Scale: _____ | | | | | | | | | | | | |
| OCCUPANCY | | | | | | | | | | | | | | |
| Residential | No. Persons | BUILDING TYPE | W | S1 | S2 | S3 | S4 | C1 | C2 | C3/S5 | PC1 | PC2 | RM | URM |
| Commercial | 0-10 | Basic Score | 6.0 | 4.0 | 3.0 | 6.0 | 4.0 | 3.0 | 3.5 | 2.0 | 3.5 | 2.0 | 3.5 | 2.0 |
| Office | 11-100 | High Rise | N/A | -1.0 | -0.5 | N/A | -1.0 | -0.5 | -1.0 | -1.0 | N/A | 0 | -0.5 | -0.5 |
| Industrial | 100+ | Poor Condition | -0.5 | -0.5 | -0.5 | -0.5 | -0.5 | -0.5 | -0.5 | -0.5 | -0.5 | -0.5 | -0.5 | -0.5 |
| Pub. Assem. | | Vert. Irregularity | -0.5 | -0.5 | -0.5 | -0.5 | -1.0 | -1.0 | -0.5 | -1.0 | -1.0 | -1.0 | -0.5 | -1.0 |
| School | | Soft Story | -1.0 | -2.0 | -2.0 | -1.0 | -2.0 | -2.0 | -2.0 | -1.0 | -1.0 | -1.0 | -2.0 | -1.0 |
| Govt. Bldg. | | Torsion | -1.0 | -2.0 | -1.0 | -1.0 | -1.0 | -1.0 | -1.0 | -1.0 | -1.0 | -1.0 | -1.0 | -1.0 |
| Emer. Serv. | | Plan Irregularity | -1.0 | -0.5 | -0.5 | -0.5 | -0.5 | -0.5 | -0.5 | -0.5 | -1.0 | -1.0 | -1.0 | -1.0 |
| Historic Bldg. | | Pounding | N/A | -0.5 | -0.5 | N/A | -0.5 | -0.5 | N/A | N/A | N/A | -0.5 | N/A | N/A |
| | | Large Heavy Cladding | N/A | -2.0 | N/A | N/A | N/A | -1.0 | N/A | N/A | N/A | -1.0 | N/A | N/A |
| | | Short Columns | N/A | N/A | N/A | N/A | N/A | -1.0 | -1.0 | -1.0 | N/A | -1.0 | N/A | N/A |
| | | Post Benchmark Year | +2.0 | +2.0 | +2.0 | +2.0 | +2.0 | +2.0 | +2.0 | N/A | +2.0 | +2.0 | +2.0 | N/A |
| Non Structural Falling Hazard <input type="checkbox"/> | | | | | | | | | | | | | | |
| DATA CONFIDENCE | | | | | | | | | | | | | | |
| * - Estimated, Subjective, or Unreliable Data | | | | | | | | | | | | | | |
| DNK = Do Not Know | | | | | | | | | | | | | | |
| | | FINAL SCORE | | | | | | | | | | | | |
| COMMENTS | | | | | | | | | | | | | | |
| | | Detailed Evaluation Required? YES NO | | | | | | | | | | | | |

Slika 18: Obrazec za ameriško metodo s hitrim ogledom ATC-21 (FEMA)

Figure 18: American form of rapid visual screening ATC-21 (FEMA)

Preglednica 5: Razlaga kratic na obrazcu ATC-21 (FEMA)

Table 5: Explanation of abbreviations on the form ATC-21 (FEMA)

| OZNAKA | OPIS |
|--------|---|
| W | lesena konstrukcija |
| S1 | jeklana konstrukcija |
| S2 | jeklana palična konstrukcija |
| S3 | lahka kovinska konstrukcija |
| S4 | konstrukcija z jeklenim okvirjem in betonskimi stenami |
| C1 | armiranobetonska konstrukcija, ki prevzema momentne obtežbe |
| C2 | armiranobetonska konstrukcija, ki ne prevzema momentnih obtežb |
| C3/S5 | betonska ali jeklana nosilna konstrukcija z nearmiranimi zidanimi stenami |
| PC1 | konzolna betonska konstrukcija |
| PC2 | montažna betonska konstrukcija |
| RM | armirana zidana konstrukcija |
| URM | nearmirana zidana konstrukcija |

Osnovna ocena potresne ogroženosti je definirana glede na tip konstrukcije in potresno cono. Od te osnove se odštevajo vrednosti, ki so odvisne od faktorjev, ki pomembno vplivajo na potresno odpornost stavbe. To so predvsem neregularnosti v tlorisu in višini, degradacija vgrajenih materialov, pogoji temeljnih tal, velike odprtine v pritličju stavbe in podobno. Vse te pomanjkljivosti so zajete s tako imenovanimi korekcijskimi faktorji, ki po odštevanju od osnovne cene dajo končno oceno potresne ogroženosti. Čim višja je končna ocena, bolj potresno varna je stavba.

6.2.1.2 Nova Zelandija

Novozelandska metoda s hitrim ogledom (<http://www.oecd.org/dataoecd/44/21/33629206.pdf>) temelji v osnovi na ameriški metodi, kar razloži veliko vizualno podobnost med ameriškim in novozelandskim obrazcem (slika 19). Različni faktorji na obrazcu so glede na ameriški obrazec nekoliko modificirani, tako da ustrezajo tako načinu gradnje na Novi Zelandiji kot tudi večji seizmični aktivnosti na tem območju. V primerjavi z ameriško metodologijo je zato povečan vpliv skoraj vseh morebitnih neregularnosti konstrukcije (razgiban tloris, mehka etaža,...). Sam postopek določanja potresne ogroženosti posamezne stavbe je enak kot pri ameriškem modelu.

| | | | | | | | | | | |
|--|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|--------------|-----------|-----------|
| Building Owner: | | | | | | | | | | |
| Postal Address: | | | | | | | | | | |
| Building Name: | | | | | | | | | | |
| Location Address: | | | | | | | | | | |
| No. of Storeys: | Use: | | | | | | | | | |
| Year Built: | | | | | | | | | | |
| Total Floor Area (m ²): | Surveyor: | | | | | | | | | |
| Date: | | | | | | | | | | |
| <p><i>Instant Photo</i></p> | | | | | | | | | | |
| <i>Use additional pages as required</i> | | | | | | | | | | |
| STRUCTURAL SCORES | | | | | | | | | | |
| BUILDING TYPE | T | S1 | S2 | S3 | S4 | C1 | C2 | C3/55 | TU | RM |
| Basic score High Seismicity | 25 | 40 | 35 | 15 | 25 | 50 | 30 | 70 | 60 | 45 |
| Moderate Seismicity | 10 | 20 | 25 | 7 | 15 | 25 | 15 | 35 | 30 | 25 |
| Low Seismicity | 5 | 13 | 16 | 5 | 5 | 10 | 5 | 10 | 10 | 13 |
| High Rise | 5 | - | 7 | - | - | - | - | 5 | - | 3 |
| Poor condition | 3 | 5 | 5 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Plan irregularity | 3 | 5 | 5 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Vert. irregularity | 3 | 5 | 5 | 3 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Torsion | 6 | 10 | 10 | 6 | 15 | 10 | 15 | 15 | 10 | 15 |
| Weak storey | 12 | 20 | 20 | 12 | 25 | 20 | 25 | 25 | 10 | 25 |
| Pounding | - | 5 | 5 | - | 3 | 5 | 3 | 5 | - | - |
| Large heavy cladding | 7 | 3 | 3 | 5 | 3 | 3 | 3 | - | - | - |
| Short columns | - | 5 | - | - | 3 | 10 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Special design | -5 | -5 | -10 | -3 | -5 | -10 | -5 | -5 | -5 | -5 |
| Other (see over) | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| Post benchmark year 1 | -3 | -5 | -5 | -5 | -5 | -5 | -5 | - | -5 | -5 |
| Post benchmark year 2 | 10 | -10 | -10 | -7 | -5 | -10 | -5 | -5 | -10 | -5 |
| SL1 | -5 | -10 | 7 | -10 | -7 | -10 | -7 | -7 | -10 | -5 |
| SL2 | - | - | - | - | - | - | - | - | - | - |
| SL3 | 7 | 10 | 10 | 15 | 7 | 10 | 7 | 10 | 7 | 7 |
| SL3 & 8 to 20 storeys | - | 15 | 15 | - | 10 | 15 | 10 | - | - | - |
| Near fault | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| STRUCTURE SCORE | | | | | | | | | | |
| Detailed check recommended if building area is greater than shown: | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |

Feb. 1998

Slika 19: Obrazec za novozelandsko metodo s hitrim ogledom

Figure 19: New Zealand form of rapid visual screening

6.2.1.3 Slovenija

V Sloveniji metoda s hitrim ogledom še ni v uporabi. Trenutno je izdelan predlog obrazca, ki bi bil primeren za področje Slovenije. Po zgledu na ameriško metodo je karta projektih pospeškov tal za Slovenijo razdeljena v tri razrede (nizko, srednjo in visoko), slovenskim razmeram so prilagojene vse vrednosti za posamezne tipe konstrukcij kot tudi korekcijski faktorji. Z izdelavo te metode se ukvarja Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo, ki deluje v sklopu Fakultete za gradbeništvo in geodezijo.

V primeru, da bi metoda pri nas sčasoma prišla v uporabo in dajala zadovoljivo natančne in predvsem zanesljive rezultate, bi bila za naš model odločanja, zaradi svoje hitrosti in enostavnosti, zelo uporabna. Rezultati bi bili podani v obliki koeficienta potresne odpornosti stavbe (SRC).

6.2.2 Enostavne računske metode

Te metode temeljijo na zelo enostavnih izračunih. V posameznih državah po svetu je razvitih več metod, vse pa temeljijo na japonskem *Standardu za oceno potresne ranljivosti obstoječih armiranobetonskih konstrukcij*. Metoda predvideva oceno potresne ogroženosti na več nivojih, pri čemer dajejo višji nivoji zanesljivejšo in realnejšo oceno. Na prvem nivoju je potresna odpornost določena na osnovi nosilnosti posameznih etaž, ki jo zagotavljajo vertikalni nosilni elementi. Drugi nivo, ki je zahtevnejši od prvega, pri določitvi nosilnosti posamezne etaže že upošteva tudi neelastične deformacije vertikalnih nosilnih elementov. Metoda je sicer namenjena oceni betonskih stavb višine do sedem etaž, kar pa je za razmere v Sloveniji povsem dovolj, saj imajo pri nas le redke stavbe več etaž.

Prvi nivo japonske metode za oceno potresne varnosti objektov omogoča le identifikacijo potresno zelo odpornih stavb z zelo enostavnim izračunom. Horizontalna nosilnost etaže je v privzeti predpostavki odvisna le od strižne nosilnosti posameznih stebrov in sten, pri čemer se upoštevajo le prečni prerezi elementov brez armature. Na osnovi tako določenih strižnih koeficientov se določi tako imenovani konstrukcijski indeks i -te etaže E_{0i} , ki ga potrebujemo za določitev potresne odpornosti.

Indeks potresne odpornosti konstrukcije I_S (v evropskem standardu Eurocode 8 mu je enakovreden koeficient potresne odpornosti SRC, ki ga sicer tudi iščemo) je izražen kot:

$$I_S = E_0 \cdot S_D \cdot T \quad (17)$$

Pri tem je:

E_0 konstrukcijski indeks etaže

S_D indeks konfiguracije

T indeks starosti stavbe

Za določitev indeksov S_D in T obstajajo določeni dokaj enostavni kriteriji. Če na tem nivoju objekti dosežejo vsaj 65% zahtevane potresne varnosti I_{S0} (v evropskem standardu Eurocode 8 mu je enakovreden koeficient zahtevane potresne odpornosti BSC) obstaja še vedno velika verjetnost, da bodo ocenjeni kot potresno varni na podlagi bolj natančnih izračunov drugega nivoja.

Na drugem nivoju se pri določitvi potresne odpornosti posameznih etaž upošteva deformacijsko kapaciteto vertikalnih nosilnih elementov v neelastičnem območju. Konstrukcijski indeks i -te etaže E_{0i} (ki je zopet direktno odvisen od strižne nosilnosti in s tem koeficientov sten in stebrov) je tu določen že precej bolj natančno, zato so bolj natančni tudi rezultati. Formula za izračun indeksa potresne odpornosti I_S je enaka kot za prvi nivo.

Prednost opisane metode je njena enostavnost izračuna, vendar pa ima tudi nekaj pomanjkljivosti. Največja je gotovo, da je metoda uporabna le za izračun potresne odpornosti betonskih konstrukcij.

6.2.3 Natančnejše računske metode

6.2.3.1 Japonska metoda – 3. nivo

Ta metoda je nadgradnja japonske metode prvega in drugega nivoja in je od njiju tudi bistveno natančnejša. Pri računanju se uporablja dokaj natančen matematični model. Postopek je možno izvesti z nelinearnim računom časovnega odziva, kar je za običajne stavbe

praviloma prezahtevna naloga ali s pomočjo nelinearne "push-over" analize pri monotono naraščajoči obtežbi, ki je nekoliko manj zahtevna.

Enako kot pri prvih dveh nivojih zopet iščemo strižne koeficiente, s pomočjo katerih nato izračunamo konstrukcijski indeks i -te etaže E_{0i} . Indeks potresne odpornosti I_S (oziroma SRC po Eurocode 8) je definiran enako kot na prvem in drugem nivoju. Izračuni o potresni odpornosti objekta so na tem nivoju dovolj natančni, da lahko posamezen objekt zanesljivo uvrstimo v posamezen razred potresne varnosti.

6.2.3.2 Eurocode 8

SIST EN 1998 ali Eurocode 8 (v nadaljevanju EC8) je evropski standard, ki določa pravila za potresno varno gradnjo in je nam tudi najbolj poznan. Obravnava več metod potresne analize in sicer:

- Elastično statično analizo imenovano tudi "metoda z vodoravnimi silami".
- Elastično dinamično analizo imenovano tudi "modalna analiza s spektri odziva".
- Nelinearno statično analizo imenovano tudi "push-over analiza".
- Nelinearno dinamično analizo časovnega odziva.

Prva od metod je najenostavnejša, zadnja pa najzahtevnejša. EC8 na splošno za vse konstrukcije zahteva, da računski model ustrezno upošteva porazdelitev togosti in mase po konstrukciji tako, da so zajete vse pomembne nihajne oblike. V primeru nelinearne analize (ta daje seveda bistveno bolj natančne in s tem realne rezultate) mora računski model ustrezno obravnavati tudi porazdelitev nosilnosti. Za tlorisno regularne konstrukcije se analiza navadno izvede v dveh med seboj pravokotnih smereh, pri računu pa je potrebno upoštevati še slučajno ekscentričnost pri položaju mase glede na strižno središče. Za račun betonskih, sovprežnih in zidanih konstrukcij se pri izračunu togosti upošteva površina razpokanega prereza, za manj natančen izračun teh tipov konstrukcij zadošča upoštevanje polovične vrednosti nerazpokanega prereza.

Izbira posamezne metode za izračun je odvisna od zahtevane natančnosti rezultata ter značilnosti obravnavane stavbe kot so pravilnost tlorisov, višina, izvedba detajlov na nosilni

konstrukciji in podobno.

6.2.3.3 Metoda ocenjevanja potresne varnosti za zidane stavbe (SREMB)

V prejšnjih poglavjih so bile kratko predstavljene nekatere metode, ki se v svetu uporabljajo za ugotavljanje stopnje potresne odpornosti posameznega objekta. Vsaka izmed njih ima svoje prednosti, slabosti in omejitve. V tem poglavju je natančneje predstavljena metoda, ki temelji na predpisih ter zahtevah EC6 in EC8, uporablja pa se za računanje potresne odpornosti zidanih stavb. Razloga za bolj podrobno obravnavo te metode sta dva. Prvič, večina stavb v Sloveniji, katerih starost je 30 let in več ter bodo posledično zelo kmalu potrebni obnove (in s tem potencialno naše analize), je zidanih. Drugič, testni primer uporabe modela odločanja na koncu magistrskega dela je izveden za zidano zgradbo.

V nadaljevanju so predstavljeni koraki računa, po katerih se računa s programom SREMB, katerega osnovni koncept je v Sloveniji v uporabi že več kot deset let (Gostič in Štampfl, 2006):

1. Določi se kritična etaža. Običajno je to najbolj obremenjena etaža, lahko pa je tudi na primer mehka etaža. Tako v prvem kot v drugem primeru gre večinoma za pritlično etažo. V primeru večjih razlik (več kot 20%) v količini in razporedu nosilnih zidov posameznih etaž se izračuna potresna odpornost za vse etaže, kjer se upošteva razporeditev horizontalnih potresnih sil po višini glede na EC8.
2. Sledi določanje nosilnih elementov etaže, to je zidov kot celot in medokenskih slopovov, ter njihovih geometrijskih in materialnih karakteristik (dolžina, višina, debelina, vpetost ter tlačna trdnost, natezna trdnost, elastični in strižni modul ter duktilnost zidovja); delež nosilnih zidov glede na površino etaže se izračuna za obe tlorisni smeri.
3. V naslednjem koraku se določi teža stavbe nad obravnavano etažo, pri čemer se upošteva lastno težo in koristno obtežbo z ustreznimi varnostnimi faktorji. Izračunana skupna obremenitev se razdeli po posameznih nosilnih elementih obravnavane. Pri

tem se upošteva raznos obtežbe stropnih konstrukcij na zidove v smeri njihove nosilnosti. Pri lesenih, monta, norma in enosmerno armiranih stropovih se obtežba prenaša na dve linije vpetja, pri dvostransko nosilnih AB ploščah pa se obtežba porazdeli na vse štiri strani glede na teorijo porušnic – simetral (Sorič, 1999).

4. Izračunajo se karakteristike nosilnih elementov (efektivna togost, nosilnost, pomik na meji elastičnosti, mejni pomik) za obe tlorisni smeri.
5. Izračuna se masno in strižno središče etaže; pri izračunu ekscentričnosti se upošteva tudi dodatna slučajna ekscentričnost (neugodnejša varianta) v velikosti 5% tlorisne dimenzije stavbe v drugi smeri.
6. Iterativno se povečuje pomike izbrane etaže, v vsaki iteraciji se horizontalna obtežba porazdeli na nosilne elemente v razmerju njihovih trenutnih togosti in korigira glede na položaj v tlorisu (vpliv torzije); v vsaki iteraciji se glede na trenutne togosti elementov popravi položaj strižnega središča ter korigira pomike glede na spremenjeno ekscentričnost etaže in sicer za obe smeri.
7. Na izrisanem diagramu etažne histerezne ovojnice se določi mejni pomik etaže, po dogovoru je to točka, kjer nosilnost etaže pade na 80% maksimalno dosežene etažne sile oziroma ko ekscentričnost skokovito naraste ali se poruši del stropne konstrukcije. Do izpolnitve tega kriterija se predpostavi, da se horizontalna obtežba porušeni zidov prerazporedi na sosednje zidove. Z izenačenjem površin pod histerezno krivuljo in pod idealiziranim bilinearnim diagramom do mejnega pomika se določi idealizirana nosilnost etaže (H_{id}). Z njo se nato določi doseženi koeficient potresne odpornosti etaže za obe smeri ($SRC=H_{id}/G$, kjer je G teža stavbe nad obravnavano etažo), ki predstavlja potresno odpornost stavbe.
8. Sledi le še izračun zahtevane potresne odpornosti (BSC), ki je odvisna od projektnega pospeška tal na lokaciji stavbe, temeljnih tal in faktorja obnašanja konstrukcije (podrobneje je izračun predstavljen v naslednjem poglavju).
9. Na koncu se primerja zahtevana potresna odpornost (BSC) z dejansko potresno odpornostjo (SRC) ter ugotovi stopnja potresne varnosti stavbe.

Vsi potrebni podatki in enačbe za izračun so podani v EC8-1.

6.3 Zahtevana potresna odpornost stavbe in upoštevani kriterij

Zahtevana potresna odpornost objektov se v Sloveniji določa v skladu s standardom EC8. Odvisna je od dveh dejavnikov. Prvi je lokacija objekta, ki določa jakost potresa (ter s tem projektni pospešek temeljnih tal a_g) in kakovost temeljnih tal (njen vpliv S). Zahtevana potresna odpornost posameznega objekta je odvisna še od tipa objekta oziroma njegove sposobnosti, da med potresom disipira energijo. Večja kot je sposobnost sipanja energije, manjše so zahteve po potresni odpornosti. Zmanjšanje potresnih sil zaradi sposobnosti sipanja energije predstavlja faktor obnašanja q .

V izrazu, ki ga podaja standard, nastopa še faktor pomembnosti objekta γ . Njegov namen je izključno zviševanje zahtev po varnosti v odvisnosti od pomembnosti objekta. Vrednost faktorja je za običajne stavbe enaka 1, za šole, kulturne ustanove in druge stavbe, kjer se zbira večje število ljudi pa 1,2. Za bolnišnice, gasilske domove in druge pomembne stavbe, ki morajo ostati funkcionalne tudi v primeru močnejših potresov, pa po standardu EC8 znaša vrednost omenjenega indeksa 1,4. V okviru našega modela odločanja faktor γ ni pomemben, saj nas zanima le razmerje med dejansko potresno varnostjo stavbe in potresno obremenitvijo, od katere je odvisna višina gmotne škode, ki jo potres povzroči. Ta pa v nobenem primeru ni odvisna od faktorja pomembnosti objekta.

Potresna obremenitev na določen objekt je tako odvisna od projektnega pospeška temeljnih tal a_g , vrste tal S in faktorja obnašanja objekta q . Daleč najpomembnejši izmed treh podatkov je pospešek temeljnih tal, druga dva podatka na izračun vplivata bistveno manj. Ker bi upoštevanje vseh treh podatkov v nadaljnji analizi povzročilo nepreglednost in drobljenje celotnega odločitvenega modela, bomo kot relevantni kriterij za določanje potresne obremenitve (in s tem škode) v nadaljevanju uporabljali le projektni pospešek tal a_g .

Po standardu EC8 se koeficient potresne obremenitve (razmerje med skupno potresno silo in težo stavbe nad togo podlago – ang. ultimate Base Shear Coefficient - BSC) oziroma zahtevana potresna odpornost objekta določi z izrazom:

$$BSC = \frac{\gamma_I \cdot a_g \cdot S \cdot 2.5}{q} \quad (18)$$

Pri tem je:

| | |
|------------|--|
| a_g | projektni pospešek za lokacijo objekta |
| S | parameter tal |
| q | faktor obnašanja konstrukcije |
| γ_I | faktor pomembnosti objekta |

Potresna odpornost etaže (*SRC*) je, kot smo videli v prejšnjem poglavju, definirana kot razmerje mejne nosilnosti etaže in teže objekta nad njo. Če želimo posamezen objekt označiti za potresno varnega, mora biti *SRC* večja od koeficienta potresne obremenitve (*BSC*) izračunanega po standardu EC8 (zgoraj), kar je prvi pogoj za določitev objekta kot potresno varnega:

$$BSC \leq SRC \quad (19)$$

Poleg nosilnosti pa mora imeti kritična etaža tudi zadostno duktilnost, ki je sicer odvisna od faktorja obnašanja konstrukcije q . Mejno (zahtevano) duktilnost etaže se izračuna po formuli:

$$\mu_u = \frac{q^2 + 1}{2} \quad (20)$$

Izračunana idealizirana duktilnost kritične etaže μ mora biti večja od mejne duktilnosti μ_u , kar je drugi pogoj za določitev objekta kot potresno varnega po EC8:

$$\mu_u \leq \mu \quad (21)$$

Kadar objekt izpolnjuje oba pogoja govorimo o potresno varni gradnji.

Določanje potresne varnosti objekta (*BSC*) nima direktnega pomena za razvoj večkriterijskega odločitvenega modela, saj nas v okviru uporabe tega modela zanima predvsem finančna škoda, ki bi jo stavba utrpela v primeru potresa. Škoda pa je odvisna od potresne odpornosti stavbe ter pogostosti pojavitve potresov posameznih jakosti.

6.4 Ocena škode v odvisnosti od potresne odpornosti stavbe in projektnega pospeška temeljnih tal

Škodo, ki nastane na stavbah v primeru potresa, je izjemno težko oceniti vnaprej, torej pred pojavom potresa. Gotovo sta glavna dejavnika pri določanju potencialne škode pričakovana moč potresa in potresna odpornost stavbe, v manjši meri pa še drugi faktorji.

Po svetu so bile izdelane in se uporabljajo različne metode ocenjevanja potresne škode. Posamezne metode se med seboj močno razlikujejo, kar je na prvi pogled presenetljivo, saj obravnavajo isti pojav (potres) in z njim povezano škodo.

Nekatere metode ugotavljajo samo direktno škodo na zgradbah, druge dodatno upoštevajo še možnost izgube življenj, nekatere upoštevajo tudi škodo, ki se utrpi zaradi začasne neuporabnosti zgradbe. Dodatno se nato razlikujejo tudi v ocenah, kolikšna je vrednost človeškega življenja (ocenjevanje vrednosti življenja v denarju je etično sicer izjemno sporno), denarna izguba zaradi nezmožnosti uporabe zgradbe in podobno. Te ocene so bile pridobljene na različne načine, od natančnih študij do (najverjetneje) subjektivnih odločitev posameznikov. Zanesljivost ocen je seveda v veliki meri odvisna od količine razpoložljivih podatkov o potresih na posameznih območjih v preteklosti. Vrednosti so izražene v obliki enačb, diagramov ali razpredelnic, v vseh primerih pa so odvisne od jakosti potresa in vrste oziroma lastnosti obravnavane zgradbe.

Po različnih državah so ocenjeni velikostni redi škode za enako močne potrese različni. Razlogov za to je več. Velik vpliv ima sama tehnološka razvitost države in z njo povezana kakovost gradnje. Drugi razlog je seizmičnost posameznega območja. Če so močni potresi na nekem območju pričakovani, je gradnja na teh območjih potresno bolj varna in posledično zmerni potresi ne bodo naredili večje škode. Kjer pa se močnejših potresov ne pričakuje, bo zmeren potres naredil gotovo večjo škodo. Razloge za različne ocenjene velikostne rede škode pri potresih istih jakosti pa najdemo še v enem dejstvu; gospodarski razvitosti države oziroma kar njenem BDP. Tako bo na primer dnevni izpad dohodka zaradi potresa pri dveh enako velikih tovarnah z enakim številom zaposlenih v ZDA bistveno višji kot v Turčiji, kljub sicer enako veliki škodi na obeh objektih.

Zaradi vseh zgoraj naštetih razlogov se je za oceno škod, ki nastanejo kot neposredna posledica potresa, praktično nemogoče opirati na podatke, ki veljajo v drugih državah. Izjema bi lahko bile le nam sosednje države, pri katerih so pričakovane intenzitete potresov približno enake kot pri nas, enako pa velja tudi za kakovost njihovih gradenj (ti podatki pa na žalost niso dostopni ali celo ne obstajajo). Podatki za ostale države nam načeloma lahko pomagajo le pri določanju razmerij škode glede na jakost potresa.

6.4.1 Določanje vrednosti neposredne potresne škode

Določanje vrednosti potresnih škod je, kot je bilo že omenjeno v prejšnjem poglavju, izjemno težavno in je v veliki meri odvisno od količine razpoložljivih podatkov o potresih in z njimi povezanimi škodami iz preteklosti. Tuji avtorji predstavljajo različne vrednosti potresnih škod v odvisnosti od intenzitet potresa, nekateri tudi od vrste gradenj, nikjer pa ni predstavljeno, kako so do teh vrednosti prišli in s tem posledično povezano, kako realne so te vrednosti.

V Sloveniji je relativno velika količina podatkov o potresih na voljo le iz zadnjih dveh potresov, ki sta se zgodila na območju Posočja v letih 1999 in 2004 ter potresa v Furlaniji leta 1976. O potresih, ki so se zgodili na območju Slovenije prej, pa so podatki prej kot ne skopi. Posledično je težko, če že ne kar nemogoče natančno oceniti, kolikšne bi bile škode na posameznih stavbah v primeru potresov različnih jakosti. Podatki iz prej omenjenih potresov so sicer zelo koristni, vendar neposredno uporabni le za določanje škod pri tistih jakostih, ki so jih ti potresi imeli.

Določanje škod pri ostalih, predvsem višjih jakostih, pa je potrebno oceniti bodisi iz razmerij škod pri podobnih ocenah na drugih področjih sveta bodisi empirično na podlagi izkušenj in občutka inženirjev. Najboljša je seveda kombinacija obojega.

V sodelovanju z zaposlenimi na Gradbenem inštitutu, oddelek za materiale in konstrukcije, smo empirično ocenili vrednosti škod na stavbah v odvisnosti od projektnih pospeškov temeljnih tal in potresne odpornosti stavb. Ocene temeljijo na izkušnjah, pridobljenih v okviru dela pri popotresni obnovi Posočja, izdelavah potresnih analiz za različne vrste gradbenih objektov ter elaboratov konstrukcijskih ojačitev, na podlagi katerih se izvajajo gradbena dela, ki zvišujejo potresno odpornost objektov.

Razmerja med empirično dobljenimi vrednostmi škod smo nato primerjali s podobnimi tabelami, izdelanimi za področje Turčije, natančneje pokrajine Izmir, Venezuele ter Združenih držav Amerike. Izkazalo se je, da so si razmerja škod (primerjalne tabele sicer obravnavajo škode v odvisnosti od intenzitete potresov in kvalitete gradnje, vendar je sam sistem podoben) dokaj podobna, zato njihovih vrednosti naknadno nismo spreminjali.

Vrednosti škod, v odvisnosti od projektnega pospeška temeljnih tal in potresne odpornosti posamezne stavbe, podajamo v preglednici 6. Vrednosti v tabeli veljajo za kamnite in zidane ter načeloma tudi betonske stavbe.

Preglednica 6: Ocena neposredne škode kamnitih, zidanih in betonskih stavb v odvisnosti od projektnih pospeškov tal (a_g) in potresne odpornosti stavb (SRC) ¹

Table 6: The assessment of direct damage to buildings, depending on the pick ground acceleration (a_g) and the seismic resistance of buildings (SRC)

| SRC | projektni pospešek temeljnih tal (a_g) | | | | |
|---------------|--|-------|-------|---------------|---------------|
| | 0.150 | 0.175 | 0.200 | 0.225 | 0.250 |
| | [€/m ²] | | | | |
| 0,36<SRC | 0 | 8 | 43 | 80 | 130 |
| 0,30<SRC<0,35 | 10 | 43 | 98 | 152 | 197 |
| 0,26<SRC<0,30 | 43 | 100 | 157 | 229 | 336 |
| 0,21<SRC<0,25 | 100 | 170 | 241 | 350 | 501 |
| 0,16<SRC<0,20 | 194 | 267 | 389 | 542 | nepopravljivo |
| SRC<0,15 | 278 | 397 | 542 | nepopravljivo | nepopravljivo |

Dobljene vrednosti so, glede na razpoložljive podatke, trenutno najboljši približek dejanskim vrednostim. Boljšo oceno, ki bo lahko temeljila tudi na dejanskih izračunih in s tem posledično natančnejši metodologiji, bo možno izdelati šele, ko bo na področju Slovenije prišlo do tako imenovanega stoletnega potresa. Takrat bo potrebno zbrati čim večje število

¹ Pri izdelavi preglednice so sodelovali: dr. Blaž Dolinšek, dr. Samo Gostič, Jože Kos, Mihajlo Popović, Anton Štampfl, mag. Mojmir Uranjek, vsi univ.dipl.inž.grad.

vseh vrst relevantnih podatkov ter izdelati primerno metodologijo, na podlagi katere se bo prišlo do natančnejših in zanesljivejših ocen denarnih vrednosti neposrednih potresnih škod.

Vrednosti za lesene, jeklene in morebitne druge vrste stavb se nekoliko razlikujejo od zgoraj zapisanih. Razlogov za to je več. Omenjene vrste stavb imajo drugačne konstrukcijske karakteristike in s tem drugačne mehanizme porušitev kot masivne stavbe (torej kamnite, zidane in betonske), s tem pa tudi druge vrste poškodb. Posledično so drugačni sanacijski ukrepi ter z njimi povezane cene.

Ker se lesene in jeklene stavbe v preteklosti v Sloveniji skoraj niso gradile, v tem trenutku niti ni možno objektivno ovrednotiti morebitnih škod na takih tipih objektov, saj podatkov zanje oziroma inženirjev z izkušnjami na področju potresnih sanacij lesenih in jeklenih stavb preprosto ni.

6.4.2 Določanje vrednosti posredne potresne škode

Določanje vrednosti posrednih potresnih škod je izredno obsežno in zahtevno delo, hkrati pa zaradi svoje obsežnosti omogoča tudi dokaj veliko manipuliranje s končnimi rezultati analize. Iz tega razloga mora biti njihovo določanje sistematizirano.

Ena izmed boljših metod določanja potresne škode (izdelala jo je Ameriška zvezna agencija za upravljanje z naravnimi nesrečami – FEMA), ki med drugim obravnava tudi posredno potresno škodo, je predstavljena v poglavju *6.1.1 Metodologija agencije FEMA*. Tam vidimo, da se kot posredna škoda lahko upošteva izguba najemnin, stroški selitve, izguba inventarja in osebne premoženja ter izgubljeni dohodki posameznikov in podjetij. Ameriška agencija ima za določanje navedenih vrst posrednih škod najverjetneje izdelane posebne baze podatkov, na podlagi katerih določi vrednosti škod v odvisnosti od intenzitete potresa in potresne odpornosti obravnavane stavbe.

Ker se posredna škoda v Sloveniji zaenkrat še ne določa, podobnih baz podatkov za Slovenijo trenutno nimamo. V primerih, ko bi se ta vrsta škode vendarle poskušala ovrednotiti, pa je način njenega določanja odvisen izključno od posameznika ali skupine, ki bi izvajala tovrstno

analizo.

Izdelava potrebnih baz podatkov za določanje posrednih škod namreč presega obseg pričujočega magistrskega dela.

Dokler ni izdelana vsaj okvirna baza podatkov ali dogovorjene vsaj okvirne vrednosti posameznih vrst posrednih potresnih škod, predlagam, da se v sklopu obravnavanega večkriterijskega odločitvenega modela za izbiro ukrepov pri obnovi stavb posrednih potresnih škod ne upošteva. V primeru, da bi se v prihodnosti v sklopu analize pričele upoštevati tudi posredne škode pa predlagam, naj bodo njihove vrednosti ocenjene zelo konzervativno.

6.5 Izračun potresnega tveganja

6.5.1 Postopek

Vrednotenje s potresnim tveganjem povezanih stroškov in koristi bom izvedel s standardno analizo stroškov in koristi, zato so tudi končni rezultati "potresnega" dela CBA analize predstavljeni v obliki neto sedanje vrednosti.

Za razliko od obravnavanja življenjskih stroškov stavbe (LCCA), kjer imamo opravka z dejanskimi stroški in dejanskimi koristmi, imamo pri obravnavanju potresnega tveganja opraviti z dejanskimi stroški in le s potencialnimi koristmi. O potencialnih koristih govorimo, ker potres ni gotov pojav. Do koristi zaradi konstrukcijskih ojačitev stavbe pride namreč le v primeru pojavitve potresa. Kot smo omenili že v pregledu literature, slabše razvite metode, ki obravnavajo potresna tveganja, potencialne koristi kar enačijo z dejanskimi koristmi, medtem ko bolj razviti modeli upoštevajo verjetnost pojavitve potresa posamezne intenzitete. Slednje velja tudi za naš model.

V sklopu "potresnega" dela večkriterijskega odločitvenega modela predstavljajo stroški investicijo v zvišanje potresne varnosti stavbe. Ovrednotimo jih na podlagi popisa ojačitvenih del, ki jih za posamezno stavbo predvidimo. Koristi ovrednotimo precej težje. Do njih pride namreč le v primeru pojavitve potresov, zanje pa ni mogoče natančno reči, kdaj, s kakšno jakostjo in kako pogosto se bodo pojavili. Poleg tega tu koristi ne predstavljajo klasičnega

finančnega priliva, temveč jih razumemo kot zmanjšanje stroškov oziroma potencialnih škod v primeru pojavitve potresa. Koristi izračunamo kot razliko med potencialno škodo zaradi potresa za stavbo v obstoječem stanju in potencialno škodo za isto stavbo v primeru izvedbe protipotresnih ojačitev.

Sistema določanja stroškov in koristi protipotresnih ojačitev stavb ameriške agencije FEMA, na področju Slovenije trenutno še ne more vstopiti v uporabo. Glavni razlog je seveda pomanjkanje večine za izvedbo analize potrebnih podatkov. Iz tega razloga je potrebno za Slovenijo izdelati povsem drugačno metodo, kjer bi bilo ključnega pomena zmanjšanje števila vhodnih podatkov. Potrebni podatki in predlagani način izračuna so predstavljeni v nadaljevanju.

6.5.2 Potrebni podatki

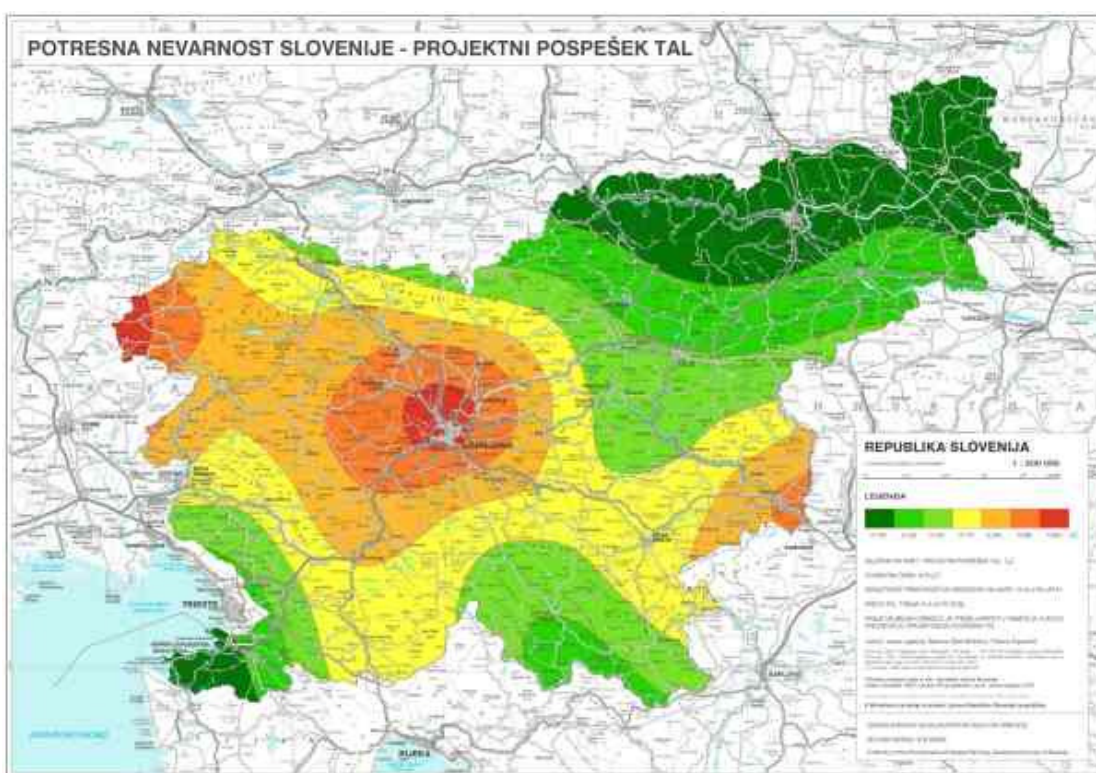
Za izvedbo izračuna potrebujemo naslednje podatke:

- vedeti moramo, kako močan potres s posamezno povratno dobo lahko na posameznem območju pričakujemo,
- kakšna je bila potresna odpornost (SRC) obravnavane stavbe pred potresno ojačitvijo in kakšna je po njej,
- kakšne so predvidene vrednosti potresnih škod v odvisnosti od moči potresa (natančneje projektnega pospeška temeljnih tal) in
- vrednost začetne investicije – protipotresne ojačitve.

Poleg naštetih podatkov potrebujemo še višino diskontne stopnje. Ta je bila v celoti obravnavana že v poglavju 3.5 *Diskontna stopnja* in se za naš model giblje med 3 in 5%.

Vrednost investicije se, kot je bilo omenjeno že v prejšnjem poglavju, pridobi na podlagi popisa gradbenih (ojačitvenih) del. Potresna odpornost stavbe (SRC) pred in po izvedbi ojačitvenih del se določi na podlagi enega izmed v poglavju 6.2 *Določanje potresne odpornosti stavbe* predstavljenih metod. Izbira metode je prosta, vendar mora ocenjevalec

zagotoviti zadostno kakovost in zanesljivost rezultata. Vrednosti potresnih škod v odvisnosti od projektnega pospeška temeljnih tal so v tabelarni obliki prikazane v poglavju 6.4.1 *Določanje vrednosti neposredne potresne škode – preglednica 6*. Razlog, zakaj je kot kriterij upoštevan le projektni pospešek, faktor obnašanja objekta in vrsta tal pa ne, čeprav na potresno obremenitev objekta prav tako vplivata, sem opisal v poglavju 6.3 *Zahtevana potresna odpornost stavbe in upoštevani kriterij*. Za izvedbo izračuna tako potrebujemo le še podatek, kako močne potrese s posameznimi povratnimi dobami na posameznem območju pričakujemo.



Slika 20: Karta projektnih pospeškov temeljnih tal s povratno dobo 500 let

Figure 20: Map of pick ground acceleration with the return period of 500 years

Zanimajo nas projektni pospeški tal na določeni lokaciji za potrese z različnimi povratnimi dobami, to je 100, 500 in 1000 let. Za potrese s povratnimi dobami 500 in 1000 let sta izdelani karti projektnih pospeškov tal (sliki 20 in 21), medtem ko za potres s povratno dobo 100 let ta ni izdelana. Projektni pospešek tal za preostalo povratno dobo moramo tako določiti računsko.

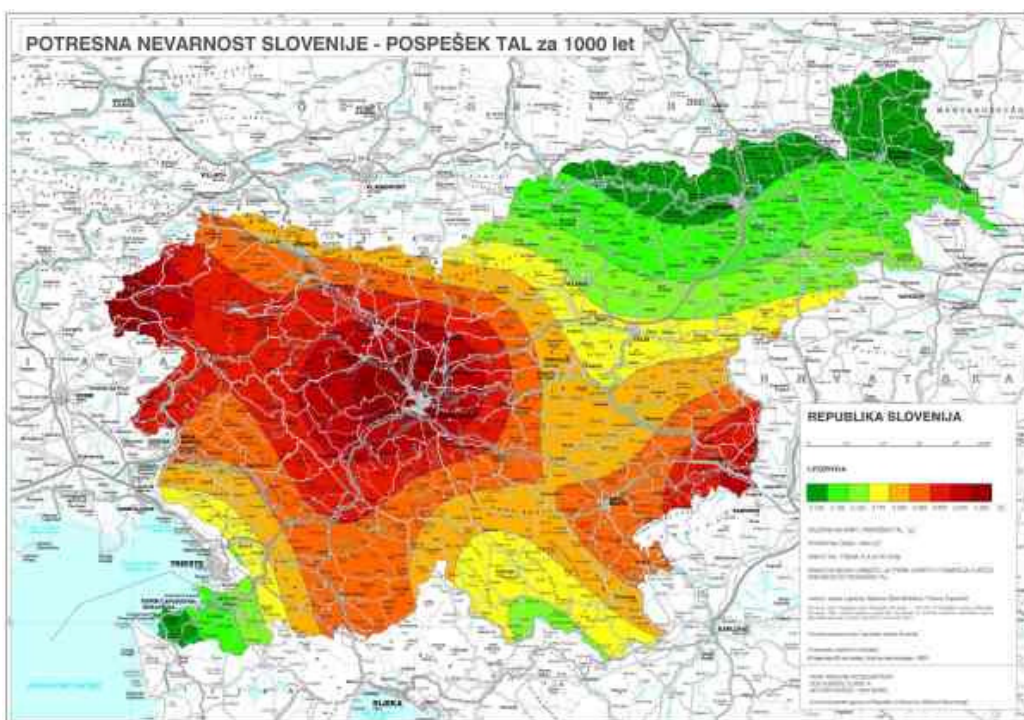
V skladu z EC8 lahko določimo faktor, s katerim pomnožimo referenčno vrednost pospeška

temeljnih tal za določeno območje. Pri tem uporabimo enačbo:

$$\gamma_I \approx (T_{LR}/T_L)^{-1/k} \quad (22)$$

Pri tem je:

- γ_I faktor množenja
- T_{LR} povratna doba referenčnega potresnega vpliva
- T_L povratna doba iskanega vpliva (100 let)
- k eksponent z vrednostjo okoli 3



Slika 21: Karta projektnih pospeškov temeljnih tal s povratno dobo 1000 let

Figure 21: Map of pick ground acceleration with the return period of 1000 years

Na ta način lahko določimo projektni pospešek temeljnih tal za potres katerekoli povratne dobe na katerikoli lokaciji.

6.5.3 Izračun in vnos analize stroškov izboljšanja potresne varnosti v analizo stroškov in koristi

Na podlagi pridobljenih vseh navedenih podatkov lahko opravimo izračun stroškov in koristi, povezanih s potresnim tveganjem. Dobljeni rezultat vnesemo v končno analizo stroškov in koristi, ki predstavlja osnovo obravnavanega večkriterijskega odločitvenega modela.

Predvidena neto sedanja vrednost, povezana z investicijo v povečanje potresne varnosti posamezne stavbe, je vsota vseh diskontiranih koristi, ki so pričakovane v času, ki ga analiza zajema, od katere odštejemo začetno investicijo v konstrukcijske ojačitve. Investicija zajema projektiranje in izvedbo ojačitvenih del ter morebitne druge stroške, ki bi pri tej investiciji nastale. Koristi zajemajo manjšo škodo v primeru potresa zaradi izvedenih ojačitvenih del. Ker se bodo koristi pojavile šele v prihodnosti, moramo njihovo prihodnjo vrednost diskontirati ter na ta način dobiti njihovo sedanjo vrednost:

$$NPV_{potres} = -INV + \frac{B_1}{1+d} + \frac{B_2}{(1+d)^2} + \dots + \frac{B_T}{(1+d)^T} \quad (23)$$

Pri tem je:

| | |
|----------------|---|
| NPV_{potres} | neto sedanja vrednost posamezne variantne rešitve |
| INV | investicije v zvišanje potresne varnosti (v letu 0) |
| t | specifično časovno obdobje ($t=0, 1, \dots, T$) |
| T | število let, ki jih analiza obravnava |
| $B_{1...t}$ | korist v letu t zaradi začetne investicije v zvišanje potresne varnosti |
| d | dogovorjena diskontna stopnja |

Ker ne vemo, v katerih letih bo do dejanskih koristi (potresov) prišlo, ne moremo določiti nobene izmed vrednosti $B_{1...t}$. Zgornja enačba je v taki obliki zato nerešljiva. Enačbo nekoliko poenostavimo in predpostavimo, da so koristi (sedaj govorimo že o potencialnih) vsako leto konstantne. V vsakem letu imamo namreč določeno verjetnost, da do potresa pride. Na ta način iščemo le eno neznanico, saj je sedaj $B_1=B_2=\dots=B_T$. Neto sedanjo vrednost zapišemo:

$$NPV_{POTRES} = -INV + B_t \left[\frac{1 - (1 + d)^{-T}}{d} \right] \quad (24)$$

Pri tem je:

B_t povprečna pričakovana letna korist zaradi začetne investicije

Povprečno pričakovano letno korist je že precej lažje določiti, saj lahko izračunamo, kolikšne koristi pričakujemo (zaradi izvedenih protipotresnih ojačitev) v nekem časovnem obdobju. Koristi za določeno obdobje so odvisne od velikostnega reda zvišanja potresne odpornosti stavbe, do katere je prišlo zaradi začetne investicije ter od verjetnosti pojavitve potresov posameznih jakosti v tem obdobju:

$$B_{sk} = \sum_i P_{T,i} (S_{0,i}^{SRC,a_g} - S_{SAN,i}^{SRC,a_g}) \quad (25)$$

Pri tem je:

B_{sk} skupna pričakovana korist v T letih zaradi začetne investicije

T število let, ki jih analiza obravnava

i povratne dobe potresov: 100, 500, (1000)¹ let

$P_{T,i}$ verjetnost pojavitve potresa s povratno dobo i v T letih

$S_{0,i}^{SRC,a_g}$ ocena škode na stavbi v trenutnem stanju v primeru pojavitve potresa povratno dobo i (odvisna od SRC in a_g)

$S_{SAN,i}^{SRC,a_g}$ ocena škode na stavbi za stanje po protipotresni ojačitvi v primeru pojavitve potresa s povratno dobo i (odvisna od SRC in a_g)

Oceno škode na stavbi v odvisnosti od njene potresne odpornosti (SRC) in projektnega pospeška temeljnih tal (a_g) smo določili že v poglavju 6.4.1, torej moramo določiti le verjetnost pojavitve potresa s povratno dobo i v T letih ($P_{T,i}$). To storimo na podlagi Gutenberg-Richterjeve zveze. Če gledamo vsako leto posebej, je verjetnost, da se potres s povratno dobo R zgodi v enem letu $P=1/R$ (0.01 za potres s povratno dobo 100 let).

¹ samo za pomembnejše stavbe

Verjetnost, da se potres ne zgodi v enem letu pa je $1 - P$ (0.99 za potres s povratno dobo 100 let). Navedene zveze se lahko uporabijo za račun verjetnosti v daljšem intervalu in sicer za dobo dveh let $(1 - P)(1 - P)$, oziroma za poljubno število let T kot $(1 - P)^T$. Verjetnost pojavitve potresa določene jakosti v poljubnem časovnem intervalu tako definiramo kot (Fajfar, 1995):

$$P_{T,i} = 1 - (1 - 1/R_i)^T \quad (26)$$

Pri tem je:

| | |
|-------|---------------------------------|
| R_i | povratna doba potresa i |
| T | število let, ki jih obravnavamo |

Za področje Slovenije imamo poleg podatkov o pričakovanih intenzitetah potresov s posameznimi povratnimi dobami na razpolago tudi podatke o tem, kdaj so se ti potresi nazadnje zgodili (Vidrih, 2005). Teh podatkov v izračunu verjetnosti pojavitve novega potresa ne moremo kar zanemariti. Teorija tektonike litosferskih plošč namreč pravi, da se te neprenehoma premikajo, kar posledično pomeni kopičenje napetosti med posameznimi ploščami. Te se občasno sprostijo v obliki potresov. Dlje časa ko na določenem (potresnem) območju mine od zadnjega potresa, več energije je nakopičene ob tamkajšnjih prelomnicah. S tem pa raste tudi verjetnost pojavitve novega potresa.

Matematično popolnoma pravilna formula bi zahtevala izračun pogojne verjetnosti pojavitve novega potresa (pri tem je pogoj čas, v katerem se potres določene intenzitete ni zgodil), ki pa je dokaj zahteven. Ker gre pri napovedovanju potresov zaradi njihove nepredvidljivosti za zelo načelne izračune, matematično pravilno formuliranje izračuna pogojne verjetnosti pojavitve potresa ni smiselno. Za potrebe odločitvenega modela lahko izračun verjetnosti zato poenostavimo.

Tako bomo enačbo (26) nekoliko "popravili" in upoštevali v tej enačbi zapisan podatek T kot vsoto števila let, v kateri se potres določene intenzitete ni zgodil plus število let, ki jih obravnava odločitveni model. Tako spremenjeno enačbo sedaj zapišemo:

$$P_{T,i} = 1 - (1 - 1/R_i)^{T_i+T} \quad (27)$$

Pri tem je:

T_i število let, v katerih se potres s povratno dobo i ni zgodil

Na območju Slovenije se je zadnji potres s povratno dobo 100 let zgodil leta 1895, njegov epicenter je bil v Ljubljani, medtem ko se je zadnji potres s povratno dobo 500 let zgodil leta 1511 z epicentrom v Idriji. Vrednosti T_i , ki ju za izračun potrebujemo sta torej:

- $T_{100} = 113$ let
- $T_{500} = 497$ let

Enačbo (27) vnesemo v enačbo (25) in dobimo izraz za določanje skupne vrednosti koristi B_T v časovnem obdobju T za primer investiranja v dvig potresne odpornosti stavbe:

$$B_{sk} = \sum_i \left(1 - (1 - 1/R_i)^{T_i+T}\right) \cdot \left(S_{0,i}^{SRC,a_g} - S_{SAN,i}^{SRC,a_g}\right) \quad (28)$$

Povprečna pričakovana letna korist B_t je enaka skupni vrednosti koristi B_{sk} , deljeni s številom let T :

$$B_t = \frac{\sum_i \left(1 - (1 - 1/R_i)^{T_i+T}\right) \cdot \left(S_{0,i}^{SRC,a_g} - S_{SAN,i}^{SRC,a_g}\right)}{T} \quad (29)$$

To vrednost sedaj vnesemo v enačbo (24) in dobimo neto sedanjo vrednost stavbe, ki obravnava kriterij stroškov izboljšanja potresne varnosti:

$$NPV_{POTRES} = -INV + \sum_i \left(1 - (1 - 1/R_i)^{T_i+T}\right) \cdot \left(S_{0,i}^{SRC,a_g} - S_{SAN,i}^{SRC,a_g}\right) \cdot \frac{1}{T} \cdot \left[\frac{1 - (1 + d)^{-T}}{d}\right] \quad (30)$$

Dobljeno neto sedanjo vrednost obravnavanega kriterija prištejemo k neto sedanjim vrednostim ostalih kriterijev posamezne variantne rešitve.

7 NEAMORTIZIRANI DODATNI INVESTICIJSKI STROŠKI

Čeprav se v praksi v večini primerov določanja vrednosti nepremičnin uporabljajo tržni načini vrednotenja, bomo imeli v našem primeru opraviti z vrednotenjem, ki ne bo temeljilo na tržnih metodah. Razlog za to smo natančneje obravnavali že v poglavju *2.2.1 Izhodišča in omejitve*, na tem mestu ga le na hitro ponovimo. Odločitveni model bo namreč obravnaval le stavbe v javni lasti, ki praviloma ne gredo v prodajo na prostem trgu. Iz tega razloga tržna vrednost stavbe za nas oziroma za odločitveni model ni pomembna. Določiti bomo morali vrednost stavbe za lastnika.

Ker bo odločitveni model primerjal posamezne rešitve za eno samo stavbo, nam ni potrebno določiti celotne vrednosti stavbe, temveč le razlike v vrednosti obravnavane stavbe za primere posameznih variantnih rešitev. Razlike bodo odvisne izključno od izbranih investicijskih ukrepov (stroškov) pri posamezni variantni rešitvi, saj je vrednost stavbe v obstoječem stanju za vse variantne rešitve enaka.

Zvišanje vrednosti stavbe bo torej enaka predvidenim investicijskim stroškom, ki jih bomo imeli v primeru izvedbe posamezne variantne rešitve.

7.1 Izbira primerne metode vrednotenja

Glede na v prejšnjem odstavku zapisano so za izbrani odločitveni model vse metode vrednotenja stavb kot celot neuporabne oziroma vsaj neracionalne za uporabo v sklopu izbranega odločitvenega modela. Najprimerneje je izbrati način vrednotenja, ki bo določal oziroma spremljal le vrednost predvidenih investicijskih stroškov za posamezno variantno rešitev ter časovno zmanjševanje njihove vrednosti kot posledico amortizacije.

Koristi, ki smo jih deležni zaradi investicijskih stroškov v primeru izvedbe posamezne variantne rešitve spremljamo v sklopu drugih dveh izbranih kriterijev, ki ju zajema odločitveni model, enako velja za predvidene investicijske stroške. V sklopu trenutno obravnavanega kriterija je tako potrebno le spremljanje zmanjševanja (amortizacije) vrednosti vgrajenih elementov skozi čas. V sklopu obravnavanega kriterija tako iščemo preostalo

(neamortizirano) vrednost predvidene investicije na koncu obdobja, ki ga zajema analiza stroškov in koristi v okviru izbranega večkriterijskega odločitvenega modela.

7.2 Amortizacija vgrajenih elementov

Amortizacija se skladno s slovensko zakonodajo izračunava kot je predpisano v Slovenskem računovodskem standardu (SRS) številka 13. V SRS je amortizacija opredeljena kot strošek, ki nastaja zaradi prenašanja nabavne vrednosti amortizirljivega sredstva na poslovne učinke. Obračuna se kot zmnožek amortizacijske osnove in amortizacijske stopnje. Predmet amortizacije so amortizirljiva dolgoročna sredstva in opredmetena osnovna sredstva. Izjema so zemljišča, opredmetena osnovna sredstva podjetij v gradnji, osnovna sredstva kulturnega pomena in opredmetena osnovna sredstva v stečajnem ali likvidacijskem postopku. Uporablja se pri knjigovodskem razvidovanju, obračunavanju in razkrivanju amortizacije opredmetenih osnovnih sredstev.

Strošek amortizacije je torej vrednostno izražena izraba osnovnih sredstev (v našem primeru v stavbo vgrajenih materialov oziroma konstrukcijskih elementov v sklopu predvidene investicije pri obnovi stavbe) v določenem časovnem obdobju.

Razporejanje vrednosti amortizirljivega sredstva na poslovne učinke v ocenjeni dobi koristnosti se doseže z uporabo ene od metod amortiziranja. Predpisana je možnost izbire med različnimi metodami amortiziranja. Pri izbiri metode amortiziranja moramo upoštevati, da bo izbrana metoda odlikovala vzorec pojavljanja gospodarskih koristi od opredmetenega osnovnega sredstva (Hočevar, 2009). Pri tem izbiramo lahko med tremi metodami:

- enakomernim časovnim amortiziranjem,
- padajočim časovnim amortiziranjem,
- metodo proizvedenih enot (funkcionalno amortiziranje).

Prvi dve metodi obračunavata amortizacijo glede na čas trajanja osnovnih sredstev, temelji pa na domnevi o prevladujoči vlogi staranja osnovnih sredstev v posameznih razlomkih časa. Metoda proizvedenih enot pa temelji na domnevi o prevladujoči vlogi fizične obrabe osnovnega sredstva, ki je neposredno odvisna od obsega njegove uporabe (Turk in Melavc,

2001).

Jasno je, da tretje zapisana metoda nikakor ni primerna za izračun amortizacije v stavbo vgrajenih gradbenih elementov. Tako se odločamo le med dvema možnima načinoma izračuna amortizacije. Zakonsko gledano bi lahko uporabili kateregakoli izmed njiju, vendar naj bi uporabljena metoda amortiziranja čim bolj natančno povzemala vzorec, po katerem se opredmetena osnovna sredstva (vgrajeni gradbeni materiali in elementi) izrabljajo. Po mojem mnenju metoda enakomernega časovnega amortiziranja opisuje vzorec izrabljanja v stavbo vgrajenih gradbenih materialov in elementov bistveno bolje kot metoda padajočega časovnega amortiziranja. Iz tega razloga bo v sklopu obravnavanega kriterija predlaganega odločitvenega modela uporabljena **metoda enakomernega časovnega amortiziranja**.

Enakomerno časovno amortiziranje in s tem enakomerno zmanjševanje vrednosti izračunamo na podlagi predpostavljene celotne dobe koristnosti sredstva (CDK) in njegove dejanske starosti (DS). Zmanjšanje vrednosti sredstva v obliki enačbe zapišemo:

$$\% \text{ zmanjšanja vrednosti} = DS/CDK \cdot 100\% \quad (31)$$

Pri tem je dejanska starost (DS), ki jo ima stavba oziroma v našem primeru vgrajen element v sklopu obnove stavbe, v veliki večini primerov enaka njihovi kronološki starosti. Zaradi načina vzdrževanja stavbe v času njene uporabe, pa je dejanska starost lahko tudi večja ali manjša od kronološke starosti stavbe, vendar se tovrstna korekcija dejanske starosti izvaja le izjemoma. V sklopu obravnavanega odločitvenega modela in z njim povezane določitve neamortizirane vrednosti vgrajenih elementov predpostavljamo, da je **dejanska starost elementov enaka njihovi kronološki starosti**.

Za potrebe izračuna zmanjšanja vrednosti vgrajenih elementov moramo poznati še celotno dobo koristnosti (CDK) posameznih konstrukcijskih in nekonstrukcijskih elementov, ki bi bili pri posamezni variantni rešitvi vgrajeni v stavbo. Celotna doba koristnosti je doba, v kateri vgrajeni gradbeni element ob normalnem vzdrževanju prinaša donos oziroma je uporaben.

7.3 Določitev celotne dobe koristnosti vgrajenih elementov

Za ugotovitev stroška amortizacije je izrednega pomena celotna doba koristnosti amortizirljivega sredstva, ki nam pove kako dolgo bo amortizirljivo sredstvo prenašalo svojo vrednost na proizvode in storitve oz. na koliko proizvodov in storitev bo predvidoma preneslo svojo vrednost. Pri določanju dobe koristnosti imamo opravka s prihodnostjo, zato imamo opravka zgolj z oceno te dobe (Logar in soavt., 2007).

Določanje dobe koristnosti posameznega osnovnega sredstva (v našem primeru vgrajenega elementa) je po SRS 13.8 odvisno od:

- pričakovanega fizičnega izrabljanja,
- pričakovanega tehničnega staranja,
- pričakovanega gospodarskega staranja,
- pričakovanih zakonskih in drugih omejitev uporabe.

Fizično izrabljanje sredstva je posledica izrabe, poškodb in utrujenosti sredstva. Na področju graditve objektov (s tem imam v mislim vgradnjo gradbenih materialov ter konstrukcijskih in nekonstrukcijskih elementov v vse tipe gradbenih objektov) je v veliki večini primerov fizično izrabljanje prevladujoči razlog izgubljanja vrednosti sredstva, saj do izgube vrednosti zaradi tehničnega in gospodarskega staranja pride le v zelo specifičnih in s tem tudi redkih situacijah.

Tehnično staranje sredstva pomeni njegovo zmanjšano primernost za uporabo. Zmanjšana primernost se odraža bodisi na manjših (navadno letnih) koristih elementa bodisi stroških, ki bi bili potrebni za odpravo vzrokov tehničnega staranja.

Gospodarsko staranje sredstva je posledica faktorjev, ki bi se v našem primeru pojavili zunaj stavbe in vplivali na vrednost že vgrajenega elementa. Tak primer bi bila iznajdba in pričetek prodaje bistveno boljših termo izolacijskih materialov, kot so trenutno vgrajeni v stavbo.

Zakonske in druge omejitve uporabe sredstev, omejujejo večinoma čas, lahko pa tudi količino njihove uporabe. Uporaba je v večini primerov omejena iz varnostnih razlogov.

Za določanje dobe koristnosti osnovnih sredstev je po slovenskih (SRS) kot tudi mednarodnih

računovodskih standardih (MRS) potrebno upoštevati tistega izmed zgoraj naštetih dejavnikov, ki je za določeno sredstvo najkrajši.

Za določanje dobe koristnosti v stavbo vgrajenih gradbenih materialov ter konstrukcijskih in nekonstrukcijskih elementov je gotovo najbolj objektivno izbrati prvega izmed naštetih dejavnikov oziroma kriterijev, to je **fizično izrabljanje sredstev**.

Sam SRS ne opredeljuje dob koristnosti posameznih opredmetenih sredstev, medtem ko Zakon o davku od dohodkov pravnih oseb (ZDDPO-2) v 33. členu omejuje le najvišjo letno stopnjo amortizacije posameznih delov gradbenih objektov (ter s tem njihovo najnižjo določeno življenjsko dobo), ne določa pa samih dob koristnosti.

Dobe koristnosti posameznih konstrukcijskih in nekonstrukcijskih elementov stavb moramo tako na podlagi objektivnih dejavnikov določiti sami. Podatke o dobah koristnosti lahko pridobimo iz:

- pravilnika o standardih vzdrževanja stanovanjskih stavb in stanovanj,
- podatkov proizvajalcev in rezultatov preizkušanj,
- predhodnih izkušenj ali opazovanj podobnih stavb ali materialov,
- ocene trajnosti, ki jih v svojih certifikatih ali poročilih podajajo različna evropska združenja,
- knjig, ki vsebujejo tipične življenjske dobe,
- gradbenih pravilnikov, ki podajajo tipične življenjske dobe elementov.

Zgoraj našteta literatura ne podaja vedno eksplicitno dob koristnosti elementov, temveč tudi življenjske dobe, pričakovane življenjske dobe ali normalne dobe trajanja gradbenih elementov. Vsi izmed naštetih tipov vrednosti so načeloma dokaj enakovredni celotni dobi koristnosti (CDK) in jih za njeno določitev lahko uporabimo. Izbira vira, na podlagi katerega se določa celotna doba koristnosti (CDK) je prosta, za potrebe predlaganega odločitvenega modela pa bom uporabil Pravilnik o standardih vzdrževanja stanovanjskih stavb in stanovanj (UL RS št. 20/2004). Pravilnik podaja normalno dobo trajanja gradbenih elementov v letih, navedene vrednosti pa bom v sklopu odločitvenega modela uporabil kot celotne dobe

koristnosti. Dobe koristnosti nekaterih gradbenih elementov, povzete po pravilniku, podajam v preglednici 7.

Preglednica 7: Celotne dobe koristnosti za posamezne konstrukcijske elemente (Pravilnik o standardih vzdrževanja stanovanjskih stavb in stanovanj, UL RS št. 20/2004)

Table 7: Life span of individual structural elements (rules on standards of maintenance of residential buildings and dwellings, UL RS, no. 20/2004)

| Naziv elementa | Celotna doba koristnosti v letih |
|---|---|
| temelji stavbe brez kleti | 90 |
| stavba iz armiranega betona | 90 |
| stavba iz opeke, kamna in podobno | 80 |
| stavba z lesenimi stenami ali montažnimi elementi | 60 |
| kritine za pohodne in nepohodne ravne strehe | 20 |
| opečne kritine za poševne strehe | 30 |
| betonske kritine za poševne strehe | 30 |
| fasade iz keramičnih ploščic | 50 |
| fasade iz umetnega kamna | 60 |
| fasade iz brizganega ometa | 40 |
| toplotnoizolacijske fasade s plemenitim ometom | 30 |
| lesena okna | 40 |
| ležeča podstrešna okna | 20 |
| notranja vrata | 50 |
| zunanja vrata iz alu profilov | 60 |
| zidovi obarvani z disperzijsko barvo | 5 |
| zidovi obarvani z apneno barvo | 3 |
| ometi v notranjih prostorih | 40 |
| omet podzidka (cokl) s cementno malto | 25 |
| lamelni bukov ali javorov parket | 25 |

7.4 Izračun neamortiziranih dodatnih investicijskih stroškov

Predpostavili smo torej, da se vrednost stavbe v trenutku izvedene investicije, ki je predvidena v sklopu posamezne variantne rešitve, poveča točno za skupen znesek predvidene investicije. Spremembo vrednosti stavbe zapišemo:

$$\Delta V = INV \quad (32)$$

Pri tem je:

ΔV sprememba vrednosti stavbe zaradi predvidenih investicij
 INV skupna vrednost predvidenih investicij

Po tem trenutku se začne doba, v kateri pričenjajo v sklopu investicije vgrajeni elementi izgubljati začetno vrednost. Zmanjšanje njihove vrednosti se izračuna z enačbo (31). Ta temelji na metodi enakomernega časovnega amortiziranja. Ker omenjena enačba računa zmanjšanje vrednosti sredstev oziroma vgrajenih elementov, v sklopu obravnavanega kriterija pa iščemo preostalo vrednost vgrajenih elementov, dejansko potrebujemo izraz:

$$\text{preostala vrednost} = (1 - DS / CDK) = (CDK - DS) / CDK \quad (33)$$

Z množenjem izrazov (32) in (33) dobimo izračun preostale (neamortizirane) vrednosti predvidenih investicijskih stroškov v zadnjem letu analize:

$$\Delta V_T = \sum_{el=1}^n INV_{el} \cdot [(CDK_{el} - DS_{el}) / CDK_{el}] \quad (34)$$

Pri tem je:

el posamezen vgrajen element
 T zadnje leto analize
 ΔV_T neamortizirana vrednost začetne investicije v letu T
 INV_{el} strošek izvedbe posameznega elementa (začetna vrednost elementa)
 DS_{el} dejanska starost posameznega elementa
 CDK_{el} celotna doba koristnosti posameznega elementa

7.5 Vnos vrednosti v analizo stroškov in koristi

Kot smo definirali v poglavju 7.1, v sklopu izbranega odločitvenega modela pri kriteriju vrednosti stavbe ne ugotavljamo njene celotne vrednosti, temveč le razlike v vrednostih stavbe v primeru izvedbe posameznih variantnih rešitev. Razlike so odvisne od vrednosti vgrajenih elementov pri posamezni variantni rešitvi, dejanske starosti elementov ter njihove celotne dobe koristnosti.

Z enačbo (34) izračunamo vrednosti predvidenih investicij v zadnjem letu analize. To so tako imenovane prihodnje vrednosti. Da bi te vrednosti lahko umestili v predlagani odločitveni model, jih moramo prevesti na neto sedanjo vrednost. To storimo z upoštevanjem izbrane diskontne stopnje in števila let, ki jih analiza zajema. Neto sedanjo vrednost neamortiziranih investicijskih stroškov tako izračunamo:

$$NPV_{NEAMORT_INV} = \frac{\Delta V_T}{(1+d)^T} \quad (35)$$

Pri tem je:

- d izbrana diskontna stopnja
- T število let, ki jih analiza zajema

Dobljeno neto sedanjo vrednost obravnavanega kriterija ($NPV_{NEAMORT_INV}$) prištejemo k neto sedanjim vrednostim ostalih kriterijev posamezne variantne rešitve, kot smo predstavili ob koncu poglavja 3.6.

8 RAČUNSKI PRIMER

8.1 Predstavitev problema in cilj analize

V naselju Tomišelj, ki se nahaja na južnem obrobju Ljubljanskega barja, stoji več kot 100 let stara podružnična osnovna šola. Za potrebe računskega primera predvidimo, da bo stavba služila šolski dejavnosti še približno 15 let, nato pa naj bi se šola selila v novo stavbo. Kasnejša namembnost obravnavane stavbe še ni znana.

Trenutno je stavba nujno potrebna manjših popravil in rednih vzdrževalnih del. Zaradi vlage je močno poškodovan celoten cokl, poškodovani so notranji ometi vseh sten pritličja do višine 0.5m. Poleg tega so vsi notranji prostori potrebni tudi beljenja. Ker se bo stavba uporabljala še najmanj 15 let, se poraja vprašanje smiselnosti bolj celostnega pristopa k sanaciji in ne le popravila najbolj dotrajanih elementov stavbe.

Cilj analize je za obravnavano stavbo, na podlagi razvitega odločitvenega modela, določiti najboljšo rešitev glede vrste in obsega njene obnove. Razviti odločitveni model bo med štirimi variantnimi rešitvami sanacij določil najbolj ugodno. Pri tem bo upošteval vložena finančna sredstva (stroške) ter z njimi povezane koristi, ki jih bomo deležni v naslednjih 15 letih.

8.2 Opis stanja stavbe

Stavba obsega pritličje, nadstropje in neizkoriščeno podstrešje. Objekt ni podkleten. Nosilni sistem stavbe tvorijo masivni opečni zidovi, debeline med 50 in 85 cm, ki so razmeroma enakomerno razporejeni v obeh pravokotnih smereh tlorisa. Stropno konstrukcijo tako nad pritličjem kot tudi nadstropjem večinoma predstavljajo leseni stropovi z 10 cm peščenega nasutja, prek katerega je izveden sloj estriha v debelini 5 cm, le nad hodnikom pritličja so izvedeni oboki. Strešna konstrukcija je izvedena kot trapezno vešalo, pokrita je z opečnim zareznikom. Kritina je stara približno 15 let in je nepoškodovana. Okna v pritlični etaži so bila zamenjana pred 5 leti, medtem ko so okna v nadstropju dokaj stara in temu primerno dotrajana. Skupaj je v nadstropju devet oken, vsako je površine ca. 3,5 m². Ostali podatki o

stavbi so zapisani v poročilu Bartol Pohl (2005).



Slika 22: Osnovna šola Tomišelj – severna fasada
Figure 22: Primary School Tomišelj – northern facade

Po karti projektnih pospeškov tal za potrese s povratno dobo 500 let, ki jo je izdelala Geodetska uprava Slovenije, je velikost pričakovanega projektne pospeška tal $a_g = 0,225$ g.

Stavba ni nujno potrebna sanacije, v vsakem primeru pa bi se lotili popravila notranjih ometov in cokla stavbe. Na podlagi ugotovitev iz poglavja 3.5.3 *Upoštevana družbena diskontna stopnja*, kjer so pojasnjeni kriteriji za izbiro višine diskontne stopnje, izberem diskontno stopnjo v višini 4 %.

Potrebni podatki o stavbi¹:

- Bruto površina: $A_b=440$ m²
- Površina nadstropja brez stopnišča: $A_{nad}=180$ m²
- Površina fasad: $A_{fas}=470$ m²
- Skupna dolžina obodnih zidov: 60 m
- Dimenzije in število oken v nadstropju; 1,75 m x 2,0 m, 9 kom
- Izbrana diskontna stopnja: $d=4\%$
- Čas trajanja analize: $T=15$ let

Omejitev odločitvenega modela:

Razviti večkriterijski odločitveni model lahko, kot je razloženo v poglavju 2.2.1 *Izhodišča in omejitve*, analizira le stavbe v javni lasti. Posledično tržne vrednosti stavbe v analizi ne upošteva, saj se smatra, da tovrstne stavbe ne gredo v prosto prodajo na nepremičninskem trgu.

Obravnavana stavba zadosti obe omejitvi. Stavba je v javni lasti, njena prodaja ni predvidena.

8.3 Opis variantnih rešitev in vrednost investicij

Izbiram med sledečimi variantnimi rešitvami²:

Varianta 1: Manjša popravila

- Izvedba novega cokla na fasadi, višine 0,5m; [39,00 €/m²].
- Beljenje vseh notranjih zidov; [4,00 €/m²].
- Sanacija notranjih ometov pritličja do višine 0,5 m; [18,00 €/m²].

Varianta 2: Energetska sanacija stavbe

- Izvedba novega cokla na fasadi, višine 0,5m; [39,00 €/m²].
- Beljenje vseh notranjih zidov; [4,00 €/m²].

¹ podatki pridobljeni iz poročila Bartol Pohl (2005)

² dejanske cene po enoti na tržišču na dan 1.3.2009

- Sanacija notranjih ometov pritličja do višine 0,5 m; [18,00 €/m²].
- Izvedba nove fasade, debelina toplotne izolacije d=16 cm; [48 €/m²].
- Odstranjevanje obstoječih oken v 1. nadstropju; [35 €/kos].
- Vgradnja novih PVC oken v 1. nadstropju, toplotne prevodnosti $\lambda = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, dim. 1,75x2,00 m; [550 €/kos]

Varianta 3: Potresna ojačitev stavbe

- Izvedba novega cokla na fasadi, višine 0,5m; [39,00 €/m²].
- Beljenje vseh notranjih zidov. [4,00 €/m²]
- Sanacija notranjih ometov pritličja do višine 0,5 m. [18,00 €/m²]
- Razbremenitev stropnih konstrukcij z odstranjevanjem peščenega nasutja in izvedbo lahkega nasutja. [32,00 €/m²]
- Enostransko povezovanje obodnih zidov v višini stropnih konstrukcij. [105,00 €/m²]
- Izvedba horizontalne AB vezi kot zaključek kolenčnih zidov na podstrešju, vključno z opažem in armaturo. [48,00 €/m²]
- Sidranje kapnih leg. [22,00 €/m²]

Varianta 4: Celovita sanacija stavbe

- Izvedba novega cokla na fasadi, višine 0,5m. [39,00 €/m²]
- Beljenje vseh notranjih zidov. [4,00 €/m²]
- Sanacija notranjih ometov pritličja do višine 0,5 m. [18,00 €/m²]
- Razbremenitev stropnih konstrukcij z odstranjevanjem peščenega nasutja in izvedbo lahkega nasutja. [32,00 €/m²]
- Enostransko povezovanje obodnih zidov v višini stropnih konstrukcij. [105,00 €/m²]
- Izvedba horizontalne AB vezi kot zaključek kolenčnih zidov na podstrešju, vključno z opažem in armaturo. [48,00 €/m²]
- Sidranje kapnih leg. [22,00 €/kos]
- Izvedba nove fasade, debelina toplotne izolacije d=16 cm; [48,00 €/m²]
- Odstranjevanje obstoječih oken v 1. nadstropju; [35 €/kos].
- Vgradnja novih PVC oken v 1. nadstropju, toplotne prevodnosti $\lambda = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, dim. 1,75x2,00 m; [550 €/kos].

Na obravnavanem objektu se bo ne glede na izbrano variantno rešitev belilo vse notranje stene, saniralo notranje omete do višine 0.5 m ter izvedlo nov cokl na fasadi. Ker se bodo naštetna dela opravila ne glede na izbrano rešitev jih v izračunu dejansko ni potrebno upoštevati, saj za vse variantne rešitve predstavljajo enak strošek/korist v istem časovnem obdobju (glej poglavje 4.3.1 *Upoštevani življenjski stroški v sklopu predlaganega modela*).

V preglednici 8 so izračunane in prikazane vrednosti investicij za vsako izmed variantnih rešitev. Gre za klasičen popis del, iz katerega je razvidna vrednost posameznih sanacijskih del kot tudi vrednost celotne investicije posamezne variantne rešitve.

Preglednica 8: Vrednosti investicij posameznih variantnih rešitev

Table 8: Investment value of each variant solution

| VARIANTNA REŠITEV 1 | | | | |
|--|----|----------|---------------|-------------------|
| OPIS DEL | EM | KOLIČINA | CENA NA ENOTO | SKUPAJ |
| Izvedba novega cokla na fasadi, višine 0,5m. | m2 | 30 | 39,00 | 1.170,00 € |
| Beljenje vseh notranjih zidov. | m2 | 1.420 | 2,65 | 3.763,00 € |
| Sanacija notranjih ometov pritličja do višine 0,5 m. | m2 | 65 | 18,00 | 1.170,00 € |
| SKUPAJ | | | | 6.103,00 € |

| VARIANTNA REŠITEV 2 | | | | |
|---|----|----------|---------------|-------------|
| OPIS DEL | EM | KOLIČINA | CENA NA ENOTO | SKUPAJ |
| Izvedba novega cokla na fasadi, višine 0,5m. | m2 | 30 | 39,00 | 1.170,00 € |
| Beljenje vseh notranjih zidov. | m2 | 1.420 | 2,65 | 3.763,00 € |
| Sanacija notranjih ometov pritličja do višine 0,5 m. | m2 | 65 | 18,00 | 1.170,00 € |
| Izvedba nove fasade, debelina toplotne izolacije d=16 cm. | m2 | 470 | 48,00 | 22.560,00 € |

| | | | | |
|---|-----|---|--------|--------------------|
| Odstranjevanje obstoječih oken v 1. nadstropju. | kos | 9 | 35,00 | 315,00 € |
| Vgradnja novih PVC oken v 1. nadstropju, toplotne prevodnosti $\lambda = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, dim. 1,75x2,00 m. | kos | 9 | 550,00 | 4.950,00 € |
| SKUPAJ | | | | 33.928,00 € |

VARIANTNA REŠITEV 3

| OPIS DEL | EM | KOLIČINA | CENA NA ENOTO | SKUPAJ |
|--|-----|----------|---------------|--------------------|
| Izvedba novega cokla na fasadi, višine 0,5m. | m2 | 30 | 39,00 | 1.170,00 € |
| Beljenje vseh notranjih zidov. | m2 | 1.420 | 2,65 | 3.763,00 € |
| Sanacija notranjih ometov pritličja do višine 0,5 m. | m2 | 65 | 18,00 | 1.170,00 € |
| Razbremenitev stropnih konstrukcij z odstranjevanjem peščenega nasutja in izvedbo lahkega nasutja. | m2 | 180 | 32,00 | 5.760,00 € |
| Izvedba lesene podkonstr. kot podlaga parketu in polaganje parketa, skupaj z brušenjem in lakiranjem | m2 | 180 | 56,00 | 10.080,00 € |
| Enostransko povezovanje obodnih zidov v višini stropnih konstrukcij. | m2 | 60 | 105,00 | 6.300,00 € |
| Izvedba horizontalne AB vezi kot zaključek kolenčnih zidov na podstrešju, vključno z opažem in armaturo. | m2 | 60 | 48,00 | 2.880,00 € |
| Sidranje kapnih leg. | kos | 45 | 22,00 | 990,00 € |
| SKUPAJ | | | | 32.113,00 € |

VARIANTNA REŠITEV 4

| OPIS DEL | EM | KOLIČINA | CENA NA ENOTO | SKUPAJ |
|--|----|----------|---------------|------------|
| Izvedba novega cokla na fasadi, višine 0,5m. | m2 | 30 | 39,00 | 1.170,00 € |
| Beljenje vseh notranjih zidov. | m2 | 1.420 | 2,65 | 3.763,00 € |

| | | | | |
|---|-----|-----|--------|--------------------|
| Sanacija notranjih ometov pritličja do višine 0,5 m. | m2 | 65 | 18,00 | 1.170,00 € |
| Razbremenitev stropnih konstrukcij z odstranjevanjem peščenega nasutja in izvedbo lahkega nasutja. | m2 | 180 | 32,00 | 5.760,00 € |
| Izvedba lesene podkonstr. kot podlaga parketu in polaganje parketa, skupaj z brušenjem in lakiranjem | m2 | 180 | 56,00 | 10.080,00 € |
| Enostransko povezovanje obodnih zidov v višini stropnih konstrukcij. | m2 | 60 | 105,00 | 6.300,00 € |
| Izvedba horizontalne AB vezi kot zaključek kolenčnih zidov na podstrešju, vključno z opažem in armaturo. | m2 | 60 | 48,00 | 2.880,00 € |
| Sidranje kapnih leg. | kos | 45 | 22,00 | 990,00 € |
| Izvedba nove fasade, debelina toplotne izolacije d=16 cm. | m2 | 470 | 48,00 | 22.560,00 € |
| Odstranjevanje obstoječih oken v 1. nadstropju. | kos | 9 | 35,00 | 315,00 € |
| Vgradnja novih PVC oken v 1. nadstropju, toplotne prevodnosti $\lambda = 1,2 \text{ W/m}^2\text{K}$, dim. 1,75x2,00 m. | kos | 9 | 550,00 | 4.950,00 € |
| SKUPAJ | | | | 59.938,00 € |

8.4 Določanje vrednosti posameznim kriterijem

Za vsako izmed variantnih rešitev je potrebno izračunati vrednosti kriterijev, ki smo jih določili kot merodajne za razviti odločitveni model. Potrebujemo jih za vnos v analizo stroškov in koristi, ki predstavlja jedro odločitvenega modela. Kriteriji so; življenjski stroški, stroški izboljšanja potresne varnosti ter vrednost neamortiziranih investicijskih stroškov.

8.4.1 Analiza življenjskih stroškov

Analiza življenjskih stroškov, v sklopu katere se morajo upoštevati le postavke, prikazane na *sliki 11* (poglavje 4.3.1.), se za vse variantne rešitve izvede s programom LCProfit.

Predstavitev programa in način vnašanja podatkov je obravnavan v poglavju *4.5.1 Program LCProfit*. Program v izračunu poleg stroškov tekom obdobja analize upošteva tudi začetno investicijo v stavbo za variantni rešitvi 2 in 4, to so nova okna in fasada. Poudarimo, da program v izračunu že upošteva diskontno stopnjo, ki sem jo določil kot 4% in tako rezultate poda v obliki neto sedanje vrednosti.

V analizah življenjskih stroškov sem za posamezne variantne rešitve upošteval naslednje pomembnejše predpostavke:

Varianta 1: Manjša popravila

- Upoštevano je obstoječe stanje stavbe.
- Cene energentov so konstantne.

Varianta 2: Energetska sanacija stavbe

- Upoštevana je investicija izvedbe nove fasade s toplotno izolacijo debeline $d=16\text{cm}$ in
- Menjava oken v nadstropju (toplotna prevodnost novih oken $\lambda=1,2\text{ W/m}^2\text{K}$).
- Cene energentov so konstantne.

Varianta 3: Potresna ojačitev stavbe

- Upoštevano je obstoječe stanje stavbe.
- Cene energentov so konstantne.

Varianta 4: Celovita sanacija stavbe

- Upoštevana je investicija izvedbe nove fasade s toplotno izolacijo debeline $d=16\text{cm}$ in
- Menjava oken v nadstropju (toplotna prevodnost novih oken $\lambda=1,2\text{ W/m}^2\text{K}$).
- Cene energentov so konstantne.

Na podlagi programa LCProfit dobljene neto sedanje vrednosti življenjskih stroškov za posamezne variantne rešitve so podane v preglednici 9.

Preglednica 9: Neto sedanja vrednost življenjskih stroškov stavbe za obdobje 15 let, dobljeni s programom LCProfit

Table 9: Net present value of life cycle costs for a period of 15 years, obtained by LCProfit

| | | VARIANTNE REŠITVE | | | |
|---------------------|---------------------|-------------------|------------|------------|------------|
| | | varianta 1 | varianta 2 | varianta 3 | varianta 4 |
| NPV _{LCCA} | [€/m ²] | -219 | -221 | -219 | -221 |

8.4.2 Analiza stroškov izboljšanja potresne varnosti

Izračun potresne odpornosti stavbe za obstoječe stanje in stanje po potresni ojačitvi (sanaciji) sem izvedel s pomočjo poenostavljene nelinearne seizmične analize SREMB. Predstavitev analize ter način določanja in nato vnašanja podatkov so obravnavani v poglavju 6.2.3.3 *Metoda ocenjevanja potresne varnosti za zidane stavbe (SREMB)*. Kot kritična je v skladu s predpisi EC8 izbrana pritlična etaža.

V potresnih analizah sem za posamezne variantne rešitve upošteval naslednje pomembnejše predpostavke:

Varianta 1: Manjša popravila

- Upoštevano je obstoječe stanje stavbe.

Varianta 2: Energetska sanacija stavbe

- Upoštevano je obstoječe stanje stavbe.

Varianta 3: Potresna ojačitev stavbe

- Razbremenitev stropnih konstrukcij z odstranjevanjem peščenega nasutja in izvedbo lahkega nasutja.
- Povezovanje obodnih zidov v višini stropnih konstrukcij.
- Izvedba horizontalne AB vezi kot zaključek kolenčnih zidov na podstrešju.
- Sidranje kapnih leg.

Varianta 4: Celovita sanacija stavbe

- Razbremenitev stropnih konstrukcij z odstranjevanjem peščenega nasutja in izvedbo lahkega nasutja.
- Povezovanje obodnih zidov v višini stropnih konstrukcij.
- Izvedba horizontalne AB vezi kot zaključek kolenčnih zidov na podstrešju.
- Sidranje kapnih leg.

Izračun potresne odpornosti je bil izveden za obstoječe stanje (varianti V1 in V2) in sanirano stanje (varianti V3 in V4). Pri tem se za obe stanji izvede izračun za dve med seboj pravokotni smeri (za vsako smer tlorisa). Za vsako stanje je merodajna nižja izmed dobljenih vrednosti za vsako smer (X,Y):

Preglednica 10: Rezultati računa potresne odpornosti stavbe za obstoječe stanje in stanje po morebitni sanaciji, izdelano s pomočjo programa SREMB

Table 10: Results of seismic resistance of the facility for the status quo and after rehabilitation, made with SREMB program

| etaža | stanje | SRC | | |
|-----------|-----------|--------|--------|--------|
| | | X smer | Y smer | SKUPNO |
| pritličje | obstoječe | 0.23 | 0.24 | 0.23 |
| pritličje | sanirano | 0.31 | 0.33 | 0.31 |

Za izračun neto sedanje vrednosti stavbe, ki obravnava potresno tveganje (poglavje 6.5.3 *Izračun in vnos analize stroškov izboljšanja potresne varnosti v analizo stroškov in koristi*) potrebujemo dokaj veliko število podatkov. Na podlagi popisa gradbenih del, ki so predvidena za varianti V3 in V4, znašajo vrednosti del, ki so povezane s potresno ojačitvijo stavbe, 59 €/m². V sklopu izračuna upoštevam potrese s povratnima dobama 100 in 500 let, katerih projektni pospeški temeljnih tal znašajo 0.150 g in 0.225 g. Oceno predvidenih škod v odvisnosti od projektnih pospeškov temeljnih tal in potresne odpornosti stavbe razberemo iz preglednice 6 (str.79).

Potrebni podatki za izračun neto sedanje vrednosti stavbe (str. 88, enačba 30), ki obravnava

potresno tveganje - NPV_{POTRES} :

- Investicija: $INV=59 \text{ €/m}^2$
- Povratne dobe potresov: $i = 100, 500 \text{ let}$
- Čas trajanja analize: $T=15 \text{ let}$
- Čas od zadnjega potresa ($i=100 \text{ let}$): $T_{100}=113 \text{ let}$
- Čas od zadnjega potresa ($i=500 \text{ let}$): $T_{500}=497 \text{ let}$
- Projektni pospešek temeljnih tal ($i=100 \text{ let}$): $a_g = 0.150 \text{ g}$
- Projektni pospešek temeljnih tal ($i=500 \text{ let}$): $a_g = 0.225 \text{ g}$
- Ocena škode – obstoječe stanje ($i = 100 \text{ let}$): $S_{0,100}^{0.23,0.150} = 100\text{€/m}^2$
- Ocena škode – obstoječe stanje ($i = 500 \text{ let}$): $S_{0,500}^{0.23,0.225} = 350\text{€/m}^2$
- Ocena škode – sanirano stanje ($i = 100 \text{ let}$): $S_{SAN,100}^{0.31,150} = 10\text{€/m}^2$
- Ocena škode – sanirano stanje ($i = 500 \text{ let}$): $S_{SAN,500}^{0.31,225} = 152\text{€/m}^2$
- Izbrana diskontna stopnja: $d= 4 \%$

Enačba¹:

$$NPV_{POTRES} = -INV + \sum_i \left(1 - (1 - 1/R_i)^{T_i+T}\right) \cdot \left(S_{0,i}^{SRC,a_g} - S_{SAN,i}^{SRC,a_g}\right) \cdot \frac{1}{T} \cdot \left[\frac{1 - (1 + d)^{-T}}{d}\right]$$

Preglednica 11: Rezultati izračuna neto sedanje vrednosti stavbe z vidika potresnega tveganja

Table 11: Net present value of the facility in terms of earthquake risk

| | | VARIANTNE REŠITVE | | | |
|----------------|---------------------|-------------------|------------|------------|------------|
| | | varianta 1 | varianta 2 | varianta 3 | varianta 4 |
| NPV_{POTRES} | [€/m ²] | 0 | 0 | 75,5 | 75,5 |

¹ Enačbo uporabim samo za variantni rešitvi 3 in 4, za variantni rešitvi 1 in 2 je vrednost enaka 0.

8.4.3 Neamortizirani dodatni investicijski stroški

Pri določanju vrednosti stavbe v skladu z ugotovitvami iz poglavja 7 *Neamortiziran del predvidenih investicijskih stroškov* pravzaprav določamo oziroma računamo samo razlike med vrednostjo stavbe v obstoječem stanju ter vrednostjo stavbe v primeru izvedbe posamezne variantne rešitve, saj potrebe po določanju vrednosti stavbe kot celote ni.

V skladu z izbrano metodologijo določanja vrednosti, ki je obravnavana v poglavju 7.1 *Izbira primerne metode vrednotenja*, moramo za vsak vgrajen element določiti njegovo vrednost v času vgradnje (to je kar strošek, ki smo ga s posameznim elementom imeli) in stopnjo amortiziranosti v zadnjem letu analize, to je času, v katerem iščemo preostalo vrednost začetne investicije. Za izračun stopnje amortiziranosti moramo poznati celotno dobo koristnosti posameznega elementa ter njegovo dejansko starost.

Z navedenimi podatki izračunamo vrednost vsakega izmed vgrajenih elementov v zadnjem letu analize. Za vsako variantno rešitev seštejemo vrednosti vseh, v sklopu variantne rešitve vgrajenih elementov ter s tem dobimo neamortiziran del vrednosti začetnih (investicijskih) stroškov v zadnjem letu analize.

V preglednici 12 so po posameznih variantnih rešitvah prikazani elementi, ki jih imamo namen vgraditi v stavbo, njihova začetna vrednost – investicija, celotna doba koristnosti, dejanska starost ter vrednost posamezne vrste elementov v zadnjem letu analize. Preostala (neamortizirana) vrednost elementov je izračunana v skladu z enačbo (34) (str. 95):

$$\Delta V_T = \sum_{el=1}^n INV_{el} \cdot [(CDK_{el} - DS_{el}) / CDK_{el}]$$

Preglednica 12: Vrednost vgrajenih elementov v zadnjem letu analize

Table 12: Value of built-in elements in the last year of analysis

| VARIANTNA REŠITEV 1 | | | | |
|---------------------|-------------|--------------------------|------------------|-------------------------|
| ELEMENT | INVESTICIJA | CELOTNA DOBA KORISTNOSTI | DEJANSKA STAROST | VREDNOST V ZADNJEM LETU |
| [vrsta] | [eur] | [leta] | [leta] | [eur] |
| beljenje | 3.763,00 | 5 | 15 | 0,00 |
| ometi | 1.170,00 | 40 | 15 | 731,25 |
| cokl | 1.170,00 | 30 | 15 | 585,00 |

| | |
|------------------------|-------------|
| SKUPAJ [eur] | 1.316,25 |
| SKUPAJ [eur/m2] | 2,99 |

| VARIANTNA REŠITEV 2 | | | | |
|---------------------|-------------|--------------------------|------------------|-------------------------|
| ELEMENT | INVESTICIJA | CELOTNA DOBA KORISTNOSTI | DEJANSKA STAROST | VREDNOST V ZADNJEM LETU |
| [vrsta] | [eur] | [leta] | [leta] | [eur] |
| beljenje | 3.763,00 | 5 | 15 | 0,00 |
| ometi | 1.170,00 | 40 | 15 | 731,25 |
| cokl | 1.170,00 | 30 | 15 | 585,00 |
| fasada | 22.560,00 | 30 | 15 | 11.280,00 |
| okna | 5.265,00 | 25 | 15 | 2.106,00 |

| | |
|------------------------|--------------|
| SKUPAJ [eur] | 14.702,25 |
| SKUPAJ [eur/m2] | 33,41 |

| VARIANTNA REŠITEV 3 | | | | |
|-----------------------|-------------|--------------------------|------------------|-------------------------|
| ELEMENT | INVESTICIJA | CELOTNA DOBA KORISTNOSTI | DEJANSKA STAROST | VREDNOST V ZADNJEM LETU |
| [vrsta] | [eur] | [leta] | [leta] | [eur] |
| beljenje | 3.763,00 | 5 | 15 | 0,00 |
| ometi | 1.170,00 | 40 | 15 | 731,25 |
| cokl | 1.170,00 | 30 | 15 | 585,00 |
| lahko nasutje | 5.760,00 | 80 | 15 | 4.680,00 |
| klasični parket | 10.080,00 | 25 | 15 | 4.032,00 |
| jeklene vezi | 6.300,00 | 40 | 15 | 3.937,50 |
| armiranobetonske vezi | 2.880,00 | 80 | 15 | 2.340,00 |
| sidranje kapnih leg | 990 | 80 | 15 | 804,38 |

| | |
|------------------------|--------------|
| SKUPAJ [eur] | 17.110,13 |
| SKUPAJ [eur/m2] | 38,89 |

| VARIANTNA REŠITEV 4 | | | | |
|-----------------------|-------------|--------------------------|------------------|-------------------------|
| ELEMENT | INVESTICIJA | CELOTNA DOBA KORISTNOSTI | DEJANSKA STAROST | VREDNOST V ZADNJEM LETU |
| [vrsta] | [eur] | [leta] | [leta] | [eur] |
| beljenje | 3.763,00 | 5 | 15 | 0,00 |
| ometi | 1.170,00 | 40 | 15 | 731,25 |
| cokl | 1.170,00 | 30 | 15 | 585,00 |
| fasada | 22.560,00 | 30 | 15 | 11.280,00 |
| okna | 5.265,00 | 25 | 15 | 2.106,00 |
| lahko nasutje | 5.760,00 | 80 | 15 | 4.680,00 |
| klasični parket | 10.080,00 | 25 | 15 | 4.032,00 |
| jeklne vezi | 6.300,00 | 40 | 15 | 3.937,50 |
| armiranobetonske vezi | 2.880,00 | 80 | 15 | 2.340,00 |
| sidranje kapnih leg | 990 | 80 | 15 | 804,38 |

| | |
|------------------------|--------------|
| SKUPAJ [eur] | 30.496,13 |
| SKUPAJ [eur/m2] | 69,31 |

V preglednici 12 predstavljene vrednosti veljajo za zadnje leto analize. Za določitev neto sedanjih vrednosti izračunanih zneskov uporabimo enačbo (35) (str. 96). Upoštevana je 4% diskontna stopnja:

$$NPV_{NEAMORT_INV} = \frac{\Delta V_T}{(1+d)^T}$$

Preglednica 13: Neto sedanja vrednost vgrajenih elementov po 15 letih

Table 13: Net present value of built-in elements after 15 years

| | | VARIANTNE REŠITVE | | | |
|------------------------------|--------|-------------------|------------|------------|------------|
| | | varianta 1 | varianta 2 | varianta 3 | varianta 4 |
| NPV _{NEAMORT. INV.} | [€/m2] | 1,5 | 18,5 | 21,5 | 38,5 |

8.5 Končna primerjava variantnih rešitev

Po določitvi neto sedanjih vrednosti vsem upoštevanim kriterijem, je le te potrebno sešteti po posameznih variantnih rešitvah ter izvesti končno primerjavo variantnih rešitev. V preglednici 14 so opisno prikazani v modelu upoštevanji investicijski stroški in z njimi povezane koristi za vsako variantno rešitev. Stroški predstavljajo enkratni denarni vložek v prvem letu analize, medtem ko so koristi načeloma prisotne (izjema je belež) skozi vsa leta analize.

Preglednica 14: Stroški in koristi po posameznih variantnih rešitvah¹

Table 14: Costs and benefits of each variant solution

| | STROŠKI | | KORISTI |
|---------------------|-----------------------------|---|------------------------------|
| VARIANTNA REŠITEV 1 | - izvedbe novega cokla | → | zaščita nosilne konstrukcije |
| | - beljenja notranjih zidov | → | višje udobje uporabnikov |
| | - sanacije notranjih ometov | → | višje udobje uporabnikov |

| | STROŠKI | | KORISTI |
|---------------------|-----------------------------|---|------------------------------|
| VARIANTNA REŠITEV 2 | - izvedbe novega cokla | → | zaščita nosilne konstrukcije |
| | - beljenja notranjih zidov | → | višje udobje uporabnikov |
| | - sanacije notranjih ometov | → | višje udobje uporabnikov |
| | - izvedbe nove fasade | → | nižji stroški ogrevanja |
| | - vgradnje novih oken | → | nižji stroški ogrevanja |

¹ Višje bivalno udobje denarno ni ovrednoteno in tako v odločitvenem modelu tudi ni zajeto. Višina in vrsta stroškov, katerih posledica je višje bivalno udobje, je sicer enaka pri vseh variantnih rešitvah in tako tudi v primeru vključitve v odločitveni model na končni rezultat analize ne bi vplivala.

| | STROŠKI | | KORISTI |
|---------------------|--|---|------------------------------|
| VARIANTNA REŠITEV 3 | - izvedbe novega cokla | → | zaščita nosilne konstrukcije |
| | - beljenja notranjih zidov | → | višje udobje uporabnikov |
| | - sanacije notranjih ometov | → | višje udobje uporabnikov |
| | - izvedbe lesene podkonstr. in polaganja parketa | → | višja potresna varnost |
| | - razbremenitve stropnih konstrukcij | → | višja potresna varnost |
| | - izvedbe horizontalne vezi na podstrešju | → | višja potresna varnost |
| | - sidranja kapnih leg | → | višja potresna varnost |

| | STROŠKI | | KORISTI |
|-----------------------|--|------------------------|------------------------------|
| VARIANTNA REŠITEV 4 | - izvedbe novega cokla | → | zaščita nosilne konstrukcije |
| | - beljenja notranjih zidov | → | višje udobje uporabnikov |
| | - sanacije notranjih ometov | → | višje udobje uporabnikov |
| | - izvedbe nove fasade | → | nižji stroški ogrevanja |
| | - vgradnje novih oken | → | nižji stroški ogrevanja |
| | - izvedbe lesene podkonstr. in polaganja parketa | → | višja potresna varnost |
| | - razbremenitve stropnih konstrukcij | → | višja potresna varnost |
| | - izvedbe horizontalne vezi na podstrešju | → | višja potresna varnost |
| - sidranja kapnih leg | → | višja potresna varnost | |

Koristi, povezane s sanacijskimi ukrepi v sklopu variantne rešitve 1, so predvsem nekoliko izboljššan vizualni izgled stavbe ter višje bivalno udobje. Ukrepi v sklopu variantne rešitve 1

so obravnavani kot nujni, zato so predpisani v vseh štirih obravnavanih rešitvah. Rešitev 1 bi se med štirimi obravnavanimi izkazala kot najboljša le v primeru, če bi stavba v obstoječem stanju imela dokaj visoko potresno odpornost ter obstoječo fasado z vsaj nekaj centimetri termoizolacije.

Primarni cilj sanacijskih ukrepov, predvidenih v sklopu variantne rešitve 2, je znižanje stroškov ogrevanja. Ker smo v sklopu izvedbe analize predvideli, da bodo cene energentov vsa leta konstantne (kar je dokaj konservativna predpostavka, saj obstaja precejšnja verjetnost, da se bodo cene energentov dvigale – vprašanje pa je kdaj in za koliko), izračunane koristi niso tolikšne, kot bi se morda izkazale skozi leta v praksi. Kljub konservativni predpostavki analiza kaže, da so koristi predvidenih ukrepov večje od stroškov njihove izvedbe.

Večina ukrepov ter s tem stroškov, ki so predvideni v variantni rešitvi 3, je namenjenih dvigu potresne varnosti stavbe. Stavba ima v obstoječem stanju dokaj nizko potresno odpornost, kar bi v primeru močnejšega potresa pomenilo veliko škodo in s tem visoke stroške obnove. Dvig potresne varnosti stavbe, ki bi ga dosegli z izvedbo predvidenih del, bi škodo v primeru potresa bistveno znižal. Posledično so koristi predvidenih ukrepov bistveno višje od stroškov njihove izvedbe in to kljub upoštevanju dejstva, da verjetnost pojavitve potresa še zdaleč ni stoodstotna ter da bi do določene škode še vedno prišlo.

Variantna rešitev 4 predstavlja združenje postavk ostalih treh variantnih rešitev in obravnava skoraj celovito obnovo stavbe. V sklopu te rešitve sanacije namreč niso deležni le tlaki v pritličju, leseno ostrešje ter strešna kritina. Investicijski stroški so temu primerno bistveno višji kot pri ostalih rešitvah, vendar so posledično višje tudi koristi.

V preglednici 15 so prikazane neto sedanje vrednosti posameznih kriterijev za vsako variantno rešitev. Vrednosti, ki smo jih izračunali v prejšnjih poglavjih, se enostavno seštejejo, kot je bilo predstavljeno v poglavju 3.6 *Vnos podatkov v analizo stroškov in koristi* (str. 46, enačba 15), s tem pa dobimo tudi končni rezultat analize. Odločitveni model je kot finančno najbolj ugodno, kljub najvišjim investicijskim stroškom, ocenil variantno rešitev 4 – celovita sanacija stavbe.

Preglednica 15: Neto sedanja vrednost posamezne variantne rešitve

Table 15: Net present value of each variant solution

| | | VARIANTNE REŠITVE | | | |
|------------------------------|---------------------|-------------------|---------------|---------------|---------------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 |
| NPV _{LCCA} | [€/m ²] | -219 | -221 | -219 | -221 |
| NPV _{POTRES} | [€/m ²] | 0 | 0 | 75,5 | 75,5 |
| NPV _{NEAMORT. INV.} | [€/m ²] | 1,5 | 18,5 | 21,5 | 38,5 |
| SKUPAJ | [€/m ²] | -217,5 | -202,5 | -122,0 | -107,0 |

variantna rešitev 1 – manjša popravila

variantna rešitev 2 – manjša popravila in energetska sanacija stavbe

variantna rešitev 3 – manjša popravila in potresna ojačitev stavbe

variantna rešitev 4 – celovita sanacija stavbe

8.6 Ugotovitve in komentar rezultatov

V računskem primeru sem s pomočjo večkriterijskega odločitvenega modela za izbiro ukrepov pri obnovi stavb med seboj primerjal štiri variantne rešitve za obnovo Osnovne šole v Tomišlju. Pri tem sem za potrebe računskega primera predvidel, da bo stavba svojo primarno funkcijo opravljala še približno 15 let, nato pa naj bi se šola preselila v novo stavbo. Analiziranje je bilo v skladu z razvitim odločitvenim modelom razdeljeno v tri dele (vsak del je obravnaval en kriterij), v vsakem delu pa smo analizirali vse predvidene variantne rešitve.

Pred pričetkom analiziranja variantnih rešitev po posameznih kriterijih je potrebno določiti čas uporabe stavbe (ki je hkrati čas, ki ga odločitveni model obravnava) ter izbrati primerno diskontno stopnjo, po kateri se diskontira dobljene rezultate na neto sedanjo vrednost. Oba podatka sta izjemno pomembna in v veliki meri odločata o končnem rezultatu in s tem na izbiro najboljše variantne rešitve. Napačno oziroma slabo izbrana vrednost omenjenih podatkov avtomatično pomeni napačen rezultat ob koncu analize.

V prvem delu odločitvenega modela je obravnavan kriterij življenjskih stroškov. Obravnava predvsem z ogrevanjem in hlajenjem stavbe povezane stroške in koristi, poleg njih pa po

potrebi in v odvisnosti od specifik posamezne stavbe tudi druge življenjske stroške in koristi. Pri obravnavanju kriterija življenjskih stroškov je daleč najpomembnejša predpostavka gibanja cen energentov v tistih letih, ki jih zajema analiza. Dejanskega gibanja cen v prihodnosti seveda ne poznamo, zelo pomembno pa je, da uporabljene predpostavke v zvezi s tem jasno zapišemo.

Drugi kriterij odločitvenega modela analizira stroške in koristi, povezane z izboljšanjem potresne varnosti. Gre za področje, ki v precejšnji meri temelji na predpostavkah, ki jih ni mogoče neposredno preveriti, v nekoliko manjši meri pa tudi na povsem oprijemljivih dejstvih. Smotrnost vlaganja denarnih sredstev v zvišanje potresne varnosti posamezne stavbe je (z vidika odločitvenega modela) v največji meri odvisna od potresne odpornosti stavbe v obstoječem stanju ter časa uporabe stavbe. Dlje ko imamo namen določeno stavbo uporabljati, bolj smotrno je vlaganje v zviševanje njene potresne odpornosti.

V primeru, da je potresna odpornost stavbe v obstoječem stanju nizka, jo z investicijo v njeno potresno ojačitev precej zvišamo, s tem pa posledično močno znižamo škodo ob morebitnem potresu. V kolikor pa je odpornost stavbe v obstoječem stanju relativno visoka, nam investicija v potresno ojačitev stavbe škode ob morebitnem potresu ne zniža več drastično, zato se v tem primeru investicija (ki je praviloma dokaj draga) ne izplača. Ne glede na pravkar zapisano se je v vsakem trenutku potrebno zavedati, da je primarno poslanstvo zviševanja potresne odpornosti varovanje človeških življenj.

Tretji kriterij odločitvenega modela analizira razlike v vrednosti stavbe med posameznimi variantnimi rešitvami. Zanimajo nas vrednosti v zadnjem letu analize. Med vsemi uporabljenimi kriteriji je vrednost tega kriterija najlažje in najbolj natančno določljiva. V prvi fazi moramo določiti denarno vrednost izbranih ukrepov, kar storimo s finančnim ovrednotenjem postavk popisa del. Nato s pomočjo literature ali kar neposredno od proizvajalcev ugotovimo življenjske dobe posameznih vgrajenih elementov, medtem ko starost vgrajenih elementov v zadnjem letu analize poznamo. Na podlagi teh podatkov natančno določimo razlike v vrednosti stavbe v zadnjem letu analize med posameznimi variantnimi rešitvami. Vključitev tega kriterija v odločitveni model je nujna, saj z njim upoštevamo, da se koristi zaradi začetnih investicij ne končajo z zadnjim letom, ki ga analiza še vključuje.

Na koncu analize dobljene neto sedanje vrednosti kriterijev po posameznih variantnih rešitvah seštejemo ter s tem dobimo skupne vrednosti za posamezne variantne rešitve. V prikazanem računskem primeru se je kot najprimernejša izkazala četrta variantna rešitev, ki predvideva tako energetske sanacije kot tudi potresno ojačitev osnovne šole. Ta variantna rešitev se izkaže kot optimalna predvsem zaradi nizke potresne odpornosti stavbe v obstoječem stanju.

9 ZAKLJUČKI

Zaradi večanja števila starejših stavb se vedno pogosteje zastavlja vprašanje najprimernejšega načina in obsega njihove sanacije. V praksi se odločitve večinoma še vedno sprejemajo na podlagi subjektivnih ter tudi nejasnih kriterijev posameznikov, v najboljšem primeru pa se uporabljajo enostavna orodja, kot so na primer različni enokriterijski modeli odločanja.

Glavni namen magistrskega dela je bil razviti večkriterijski model odločanja, s pomočjo katerega lahko na podlagi objektivnih kazalcev določimo najboljšo izmed razpoložljivih rešitev glede vrste in obsega obnove posamezne stavbe oziroma sprejmemo odločitev o njeni rušitvi in nadomestitvi z novogradnjo. Hkrati je bil cilj tudi identificirati, predstaviti in podrobno obravnavati vse dejavnike, ki vplivajo na izbor najboljše rešitve pri vseh tipih gradbenih objektov, ne le pri izbrani skupini stavb.

Končna odločitev bo zaradi možnih specifik posamezne stavbe še vedno prepuščena ključnemu odločevalcu, ki pa se bo lahko pri sprejemanju končne odločitve opiral na razviti model.

9.1 Ugotovitve

Tekom razvijanja modela, izdelave naloge ter ob koncu izvedbe računskega primera sem prišel do več spoznanj. Najpomembnejše spoznanje je gotovo, da odločitve ne moremo sprejeti izključno na podlagi rezultata odločitvenega modela. Pri obravnavanju vsake stavbe bo vedno prisotnih določeno število okoliščin, ki jih ne moremo preprosto spremeniti v številke in vstaviti v model, temveč jih mora odločevalec imeti v mislih pri tolmačenju rezultatov modela in sprejemanju končne odločitve.

Potres je izredno negotov dogodek, ki ga ni moč napovedati drugače kot na način, da napovemo verjetnost njegove pojavitve v določenem časovnem obdobju. Dejansko pa sta možni samo dve varianti; potres se v določenem obdobju bodisi bo zgodil bodisi ga ne bo. Pri stavbah z nizko potresno odpornostjo se pravzaprav ne bi smeli niti spraševati ali jo je finančno gledano smiselno ojačevati ali ne. V takih primerih je ojačevanje nujno, saj so

ogrožena človeška življenja (v primeru pristopa k sanaciji stavbe je potresna ojačitev tudi zakonsko predpisana skozi izpolnjevanje bistvene zahteve mehanske odpornosti in stabilnosti). Sicer tudi sam odločitveni model pri stavbah z nizko potresno odpornostjo pokaže, da je njihovo ojačevanje finančno smiselno.

Razlog je sledeč; z ojačevanjem stavb z nizko potresno odpornostjo obseg škode v primeru potresa močno zmanjšamo, medtem ko je v primeru ojačevanja potresno zmerno odporne stavbe zmanjšanje potresne škode bistveno manjše. Glede na to, da so investicije v obeh primerih praviloma skoraj enako visoke, je razmerje med stroški in koristmi v prvem primeru zelo ugodno, v drugem pa bistveno manj.

Vrednost stavbe oziroma razlike v vrednostih stavbe pri posamezni variantni rešitvi se pri razvitem modelu določa povsem enostavno. V kolikor bomo razviti odločitveni model aplicirali tudi na stavbe, ki se za razliko od obravnavanih vrst stavb prodajajo na nepremičninskem trgu, bo način določanja vrednosti tega kriterija potrebno povsem spremeniti. Uporabiti bo namreč potrebno tržno vrednotenje nepremičnin, določanje vrednosti drugima kriterijema pa se metodološko ne bo spremenilo.

Ob koncu naj dodam še, da so bili v času nastajanja magistrskega dela svetovni trgi in gospodarstva stabilni in brez večjih pretresov že daljše število let. Iz tega razloga je bilo mogoče dokaj dobro predvideti tudi potek določenih dogodkov, ki naj bi se zgodili v prihodnosti. Tako je bilo na primer gibanje cen vseh vrst energentov, surovin kot tudi storitev možno napovedati dokaj natančno, nepredvidljiv je v modelu tako ostajal le pojav potresa. V sedanji gospodarski situaciji pa je morda celo lažje napovedati morebitni potres kot gibanje cen dobrin v prihodnosti.

9.2 Uporaba modela v praksi

Prva ugotovitev, do katere pridemo pri uporabi modela je, da moramo še pred pričetkom analiziranja vsake stavbe določiti ali upoštevati nekatere predpostavke, ki močno vplivajo na končni rezultat analize. Tako je denimo izjemno pomembna predpostavka določanje gibanja cen energentov v prihodnosti. Je bolje predvideti konstantne cene, linearno naraščajoče ali morda kaj tretjega? Tu se ne moremo odločiti prav ali narobe, pomembno pa je, da se v

sklopu tolmačenja končnega rezultata zavedamo sprejete predpostavke. Koristno orodje pri vrednotenju posamezne predpostavke je lahko občutljivostna analiza, s pomočjo katere izvedemo analizo ob različnih vrednostih posameznega predpostavljenega parametra ter nato opazujemo intenziteto spremembe rešitve.

Druga zadeva je določanje vrst in števila podatkov, ki jih bomo v posamezni analizi upoštevali. Po eni strani bi lahko dejali, da je bolje upoštevati čim večje število podatkov, saj naj bi to načeloma zagotavljalo zanesljivejše rezultate. Vendar glede na to, da z modelom obravnavamo prihodnost, to navadno pomeni večje število predpostavk, ki vplivajo na končni rezultat. Ob tolmačenju končnega rezultata se moramo tako zavedati večjega števila predpostavk, kot bi morda bilo potrebno. Iz tega razloga je najbolje, da se omejimo na tiste podatke, za katere smatramo, da bodo pomembno vplivali na končni rezultat ter s tem tudi pravilnost rezultata.

Kot zadnje bi izpostavil dejstvo, da postavk, ki so enake pri vseh variantnih rešitvah, v analizi ni potrebno upoštevati. Te namreč ne vplivajo na nominalne razlike v njihovih neto sedanjih vrednostih ter s tem na izbor najboljše variantne rešitve.

9.3 Smernice za nadaljnji razvoj

Na osnovi novih izkušenj na delovnem mestu ter spoznanj, nastalih v okviru magistrskega dela, so se pojavile nove ideje in izzivi, ki bi jim bilo pri nadaljnjem delu na področju obravnavane tematike potrebno posvetiti dodatno pozornost.

V prvi fazi nadaljnjega razvoja je potrebno nadaljevati preverjanje uporabnosti obstoječega modela na novih praktičnih primerih in se s tem prepričati, da je model uporaben za vse predvidene tipe stavb ter s tem uporaben tudi v praksi.

Preverjanju obstoječega modela bi lahko sledila razširitev oziroma prilagoditev modela za obravnavanje drugih tipov stavb, predvsem tistih v zasebni lasti. Pomoč pri odločanju o izbiri ukrepov pri obnovi stavb bo gotovo dobrodošla zasebnim investitorjem, ki se trenutno o ukrepih pri obnovi stavb večinoma odločajo na podlagi lastne presoje.

Glede na to, da v Sloveniji v zadnjih letih opažamo precejšnje povečanje števila naravnih nesreč, bi bilo smotno preveriti še možnost razširitve modela na dodatne kriterije, ki bi obravnavali tveganja povezana s točo, poplavami, vetrom in podobnim. Navedena razširitev bi bila precej zahtevna, saj bi najprej morali izdelati baze podatkov, ki bi vsebovale informacije o pogostosti pojavitev posameznih tipov naravnih nesreč na posameznih lokacijah, bi pa pripomogla k bolj kakovostnim odločitvam na področju obstoječega stavbnega fonda.

POVZETEK

Magistrsko delo obravnava razvoj večkriterijskega odločitvenega modela za izbiro sanacijskih ukrepov pri obnovi javnih stavb. Z njim je pri odločitvi za obnovo posamezne stavbe prvič na voljo orodje, ki zajema vse vidike obnove in nam s tem predloži, vsaj s stališča stroškov in koristi, optimalno rešitev. Tematsko je magistrsko delo razdeljeno v več sklopov, ki vsak posamezno kot tudi vsi skupaj tvorijo smiselno celoto.

V prvem sklopu so najprej razloženi teorija in možni načini eno in večkriterijskega odločanja na splošno. Temu sledi razvoj modela. Najprej so določeni dejavniki in omejitve, ki na odločitveni model vplivajo ter jih je ves čas njegovega razvoja kot kasneje tudi pri uporabi modela potrebno imeti v mislih. Naslednji korak je identifikacija najpomembnejših kriterijev. Obstaja seveda dokaj širok nabor možnih kriterijev, v okviru predlaganega odločitvenega modela pa se omejujemo ter v model vgrajujemo tri najpomembnejše: življenjske stroške stavbe, potresno varnost stavbe ter stroške investicije obnove. Na koncu poglavja je predstavljen izbran (ter za obravnavan problem najprimernejši) način večkriterijskega odločanja, ki temelji na sistemu odločanja, ki so ga razvili Vanier in soavtorji (2006).

Naslednji sklop obravnava analizo stroškov in koristi, ki tvori ogrodje odločitvenega modela. Predstavljeni so stroški in koristi ter z njimi povezani kriteriji, ki jih v obravnavanem odločitvenem modelu upoštevamo. Prikazan je način vnosa relevantnih podatkov v analizo, podrobno je razložen princip in način izbiranja diskontne stopnje, s katero v modelu pretvorimo stroške in koristi v prihodnosti na neto sedanjo vrednost.

Sledi podrobno obravnavanje vsakega izmed izbranih kriterijev. Kot prvi je obravnavan kriterij življenjskih stroškov stavbe. Najprej je predstavljenih več možnih načinov klasifikacije življenjskih stroškov, temu sledi določitev za odločitveni model relevantnih stroškov, ki jih nato v analizi življenjskih stroškov tudi upoštevamo. Ker se vrednost kriterija izračuna s pomočjo programske opreme, je ob koncu poglavja predstavljen način vnosa podatkov v analizo.

Naslednji je obravnavan kriterij potresne varnosti. Predstavljene so različne metode ocenjevanja potresne varnosti stavb, najbolj natančno je predstavljena metoda ocenjevanja potresne varnosti za zidane stavbe, saj je teh v Sloveniji tudi največ. Sledi predstavitev načina

določanja vrednosti neposredne potresne škode v odvisnosti od projektnega pospeška temeljnih tal ter potresne odpornosti stavbe. Na koncu poglavja je predstavljena enačba, s katero izračunamo neto sedanjo vrednost kriterija stroškov izboljšanja potresne varnosti. Za izračun potrebujemo sledeče podatke; čas trajanja analize, vrednost investicije, verjetnost pojavitve potresa s posamezno povratno dobo, oceno vrednosti neposredne škode za potrese posameznih povratnih dob ter diskontno stopnjo.

Kot zadnji je obravnavan kriterij neamortiziranih dodatnih investicijskih stroškov. Najprej je glede na v začetku dela določene dejavnike in omejitve izbrana primerna metoda vrednotenja, ki v osnovi temelji na računovodskih standardih. Sledi kratka predstavitev možnih načinov amortiziranja ter nekoliko bolj podrobna predstavitev izbranega načina enakomernega časovnega amortiziranja. Nato so definirane dejanske starosti ter celotne dobe koristnosti posameznih konstrukcijskih elementov, ki jih imamo v sklopu posameznih variantnih rešitev namen vgraditi v stavbo. Izračun vrednosti kriterija je prikazan na koncu poglavja, zanj pa poleg opisanih podatkov potrebujemo še skupno vrednost dodatnih investicijskih vlaganj za posamezno variantno rešitev ter višino diskontne stopnje.

V predzadnjem poglavju je za prvo verifikacijo izdelanega večkriterijskega odločitvenega modela izveden računski primer, ki prikaže postopek izračuna in uporabnost razvitega modela v praksi. Temu sledi zadnje poglavje z ugotovitvami in smernicami za nadaljnji razvoj.

Z modelom, razvitim v sklopu magistrskega dela, lahko obravnavamo sicer le stavbe, ki so v javni lasti (npr. šole, dijaški domovi, upravne zgradbe in podobno), vendar obstoječi model tvori dobro osnovo tudi za razvijanje novih modelov, ki bodo lahko obravnavali druge tipe gradbenih objektov.

SUMMARY

This master thesis studies the development of a multicriteria decision model instrumental in the choice of measures in the renewal of public buildings. Thematically it is divided in several parts, which each individually and all together form a meaningful whole.

The first part gives a general overview of the theory and possible ways of decision making. At the end, the chosen (and the most suitable for the case study presented in the thesis) model of the multicriteria decision making is presented, based on the decision making system developed by Vanier and co-authors (2006).

The second part studies the cost-benefit analysis (CBA), which is a framework of the decision model. It lists the costs and benefits and the criteria tied to them (that we take into consideration within the presented decision model), presents the method of input of the considered data or criteria into the analysis and the method of selecting the discount rate, which enables us to re-calculate future costs and benefits into current net value.

The next part offers a detailed study of each selected criterion, i. e., lifetime maintenance cost of a building, its earthquake resilience and general value. The reasons for criteria selection are given, the methodology for their calculation presented and possible special characteristics and assumptions used for each selected criterion are explained.

Finally, a case study shows the calculation procedure and the possible use of the developed model in practice.

The developed multicriteria decision model can only process buildings which are in public ownership (such as schools, student hostels, administrative buildings, ...), but forms a good basis for developing new models that will be used in other types of construction works.

UPORABLJENI VIRI

- Ameriška metoda za hitro ocenjevanje potresne ogroženosti stavb. [http://www.its.caltech.edu/~keithp/Porter/et/al/\(1993\)/Training/Local/Officials/in/rapid/Visual/Screening.pdf](http://www.its.caltech.edu/~keithp/Porter/et/al/(1993)/Training/Local/Officials/in/rapid/Visual/Screening.pdf) (maj 2008)
- Amjad, A. 2005. Cost Benefit Analysis for Construction Projects. IEP_SAC Journal 2004-2005: str. 85-90.
- Barringer, H. P. 2003. A Life Cycle Cost Summary. International Conference of Maintenance Societies (ICOMS 2003): 10 str.
- Barringer, H. P., Weber, D. P. 1996. Life Cycle Cost Tutorial. Fifth International Conference on Process Plant Reliability: 58 str.
- Bartol Pohl, N. Kušar, M. 2005. Poročilo o opravljenem pregledu stanja nosilne konstrukcije objekta Osnovne šole Tomišelj s statično in seizmično analizo, strokovnim mnenjem o stanju in varnosti stavbe ter idejnimi smernicami za izvedbo sanacijsko-ojačitvenih del v sklopu adaptacije. Gradbeni inštitut ZRMK d.o.o. Oddelek za materiale in konstrukcije: 13 str.
- Bohanec, M. 2006. Odločanje in modeli. Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije: 312 str.
- Bovcon, E. 2005. Uporaba metode vrednotenja stroškov življenjskega cikla (LCC) pri prenovi stavb. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 69 str.
- Boylu, M. 2005. A Benefit/Cost Analysis for the Seismic Rehabilitation of Existing Reinforced Concrete Buildings in Izmir. Izmir Institute of Technology: 103 str.
- Brachmann, R., Holzner, P. 1998. Bauwert von Industriebauten. Verkehrswert von Fabrikgrundstücken. Gebäude-Versicherungswerte: 557 str.

- Burčar, I. 2005. Struktura registra rizika kod upravljanja gradževinskim projektima, Magistarski rad, Zagreb, Gradževinski fakultet: 124 str.
- Burke, R. 1999. Project Management – Planning and Control Techniques. England, John Wiley & Sons Ltd: 356 str.
- Carter, B., Hancock, T., Morin, J-M. and Robins, N. 1994. Introducing Riskman Methodology – The European Project Risk Management Methodology, NCC Blackwell: 208 str.
- Definicija analize stroškov in koristi. <http://www.solutionmatrix.com> (maj 2008)
- Dong, B., Kennedy, C., Pressnail, K. 2005. Comparing Life Cycle Implications of Building Retrofit and Replacement Options. Canadian Journal of Civil Engineering. Volume 32: str. 1051-1063.
- Ehlen, M. A. 1999. Life Cycle Cost of Fiber-Reinforced-Polymer Bridge Decks. Journal of Materials in Civil Engineering. August 1999: str. 224-230.
- Ehlen, M. A. 1997. Life Cycle Cost of New Construction Materials. Journal of Infrastructural Systems: str. 129-133.
- Elbehairy, H., Hegazy, T., Soudki, K. 2006. Bridge Management System with Practical Work Zone Planning. Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering. Montreal – Canada. 14. – 16. June, 2006: str. 368-377.
- Fajfar, P. 1995. Osnove potresnega inženirstva. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, IKPIR: 84 str.
- Fajfar, P. 2003. Pregled metod za ocenjevanje potresnega tveganja. Razvojno raziskovalna naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, IKPIR: 98 str.
- FEMA, 1992. A Benefit/Cost Model for the Seismic Rehabilitation of Buildings.

Building Seismic Safety Council (april 1992): 28 str.

- FEMA, 1994. Seismic Rehabilitation of Federal Buildings: A Benefit/Cost Model. Volume 1: A User's Manual: 135 str.
- Fuller, S. 2005. Guidance on Life Cycle Cost Analysis. National Institute of Standards and Technology: 27 str.
- Garrison, R. H. 1991. Managerial Accounting, Concepts for Planning, Control, Decision Making. Boston: 810 str.
- Ghesquiere, F., Jasmin, L., Mahul, O. 2006. Earthquake Vulnerability Reduction Program in Colombia. A Probabilistic Cost-benefit Analysis. World Bank Policy Research Working Paper 3939: 21 str.
- Gundersen, N. A. 1998. Annual Cost Analysis. Description and User's Guide to the Costing Model. Statsbygg: 35 str.
- Hočevar, M. 2009. Praktični vodič po računovodstvu. On-line priročnik. Verlag Dashöfer d.o.o. (<http://onbppu.dashofer.si/?wa=WA09X>, maj 2009)
- Kovačič, S. 2006. Primerjava med računovodenjem opredmetenjem osnovnih sredstev po slovenskih in mednarodnih računovodskih standardih. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta: 44 str.
- Kušar, M. 2006. Določitev meje pri kateri postane nadomestitev močnejše poškodovane stavbe z novogradnjo ekonomsko upravičena. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 31 str.
- Langevine, R., Allouche, M., Abourizk, S. 2006. Decision Support Tool for the Maintenance Management of Buildings. Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering. Montreal – Canada. 14. – 16. June, 2006: str. 2292-2301.
- Logar, D., Rade, M., Škaler, Z. 2007. Amortizacija opredmetenih osnovnih sredstev. Seminarska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta: 14 str.

- Mearig, T., Coffee, N., Morgan, M. 1999. Life Cycle Cost Analysis Handbook. State of Alaska – Department of Education & Early Development: 28 str.
- Metoda delphi. <http://www.iit.edu/~it/delphi.html> (junij 2008)
- Myers, D. 2004. Construction Economics – A New Approach. Spon Press: 283 str.
- Novozelandska metoda za hitro ocenjevanje potresne ogroženosti stavb. <http://www.oecd.org/dataoecd/44/21/33629206.pdf> (maj 2008)
- Perry J.G., Hayes R.W., 1985. Risk and its management in construction projects, Proceedings of the Institute of Civil Engineering, Vol. 78 No.1: str. 499-521.
- Poznič, M. 2007. Analiza življenjskih stroškov stavb s poudarkom na vzdrževanju. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 85 str.
- Pravilnik o standardih vzdrževanja stanovanjskih stavb in stanovanj, UL RS št. 20/2004: str. 2335-2380
- Priročnik za izdelavo analize stroškov in koristi investicijskih projektov. Izdelano za ocenjevalni oddelek Generalnega direktorata za regionalno politiko pri Evropski komisiji. Izdala Služba vlade RS za strukturno politiko in regionalni razvoj 2004: 134 str. (<http://www.gov.si/euskladi/skladi/3dok/dn6024.pdf>)
- Pšunder, I. 2004. Ekonomika gradbenih projektov: gradivo za podiplomski študij. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo: 39 ppt
- Pulakka, S. 1999. Life Cycle Cost Design Methods and Tools. Durability of Building Materials and Components 8. Ottawa, Canada, 1999: str. 2710-2715
- Radujković, M. 2000. Organization, Technology and Management in construction. Zagreb. Croatian Association for Organization and Construction: 68 str.
- Rek, A. 2006. Upravljanje s tveganji v gradbenem projektu. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 110 str.

- Rodošek, E. 1985. Organizacija gradbenih del I. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo: 66 str.
- Slana, M. 2006. Investicijski proces in vodenje projektov. Seminarsko gradivo za strokovne izpite: 106 str.
- Slovenski inštitut za revizijo. 2007. Gradivo za izobraževanje za pridobitev strokovnega naziva pooblaščenec ocenjevalec vrednosti nepremičnin: 260 str.
- Slovenski računovodski standard. 2006. Uradni list RS, št.118/2005 z dne 27.12.2005.
- Society of Automotive Engineers (SAE), 1995. "Life Cycle Cost", Reliability, Maintainability and Supportability Guidebook, Warrendale, PA.
- Smyth, A.W. in soavtorji. 2004. Probabilistic Benefit-Cost Analysis for Earthquake Damage Mitigation: Evaluating Measures for Apartment Houses in Turkey. Earthquake Spectra, Volume 20: str. 171-203
- STATSBYGG. 1998. Description and User's Guide –Annual Cost Analysis Version 2.0.: 38 str.
- Štampfl, A., Gostič, S. 2006. Študija potresne odpornosti tipične večnadstropne zidane stavbe iz toplotnoizolativne opeke. Gradbeni Inštitut ZRMK d.o.o.: 22 str.
- Šubic, M. 1989. Stanovanjska gradnja in varstvo kmetijskih zemljišč. Ljubljana, Univerza Edvarda Kardelja v Ljubljani, Inštitut za komunalno gospodarstvo: 109 str.
- Šubic Kovač, M. 2005. Vrednotenje nepremičnin (Študijsko gradivo). Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 88 str.
- Šumak, M. 2007. Analiza stroškov in koristi za oceno upravičenosti uvajanja konkretnega projekta. Specialistično delo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta: 56 str.
- Tajnikar, M. 2003. Mikroekonomija s poglavji iz teorije cen. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta: 469 str.

- Tomšič, M., Šijanec Zavrl, M. 2004. LCC Management. Priročnik za uporabo LCCA metod za investitorje in vodje projektov. Izdano v okviru mednarodnega projekta OPET stavbe: 35 str.
- Tomšič, M., Šijanec Zavrl, M., Skubic, M. 2005. Vodnik za celostno načrtovanje in uporabo metod LCCA pri prenovi stavb. Izdano v okviru mednarodnega projekta SAVE LCC REFURB: 36 str.
- Trusty, Meil 2000. The Enviromental Implications of Building New Versus Renovating an Existing Structure. Durability of Building Materials and Components 8. Ottawa, Canada, 1999: str. 2113-2121
- Turk, I., Melavc, D. 2001. Računovodstvo - Moderna organizacija. Kranj.: 547 str.
- Vanier, D., Tesfamariam, S., Sadiq, R., Lounis, Z. 2006. Decision Models to Prioritize Maintenance and Renewal Alternatives. Joint International Conference on Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering. Montreal – Canada. 14. – 16. June, 2006: str. 2549-2604.
- Vidrih, R. 2005. Napovedovanje potresov – da li ne? Življenje in tehnika, revija za poljudno znanost. Letnik: LVI. Št. 4: str. 20-36
- Žarnić, R. 2000. Osnovne lastnosti gradiv. Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za preskušanje materialov in konstrukcij: 319 str.

OSTALI VIRI

- Clinch, J. P., Healy, J. D. 2000. Cost Benefit Analysis of Domestic Energy Efficiency. Dublin. National University of Ireland, Department of Enviromental Studies: 35 str.
- Loosemore, M. 1999. Construction Management and Economics. Construction Management & Economics 11/1999, Volume: 17 , Issue: 6: str. 699-709

- Mozetič, M. 2007. Ocena učinkovitosti naložbe v komunalno opremljenost naselja Ravnica. Diplomaska naloga. Nova Gorica, Politehnika Nova Gorica, Visoko poslovno tehniška šola: 30 str.
- NIST, 2003. Guidance on Life Cycle Cost Analysis Required by Executive order 13123: 27 str.
- Shutt, R. C. 1997. Economics for the Construction Industry. Longman technician series. Construction and civil engineering: 244 str.
- Sitar, T. 2006. Analiza stroškov in koristi nadzvočnega zračnega prometa na primeru Aérospatiale/British Aerospace Concorde. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta: 45 str.
- Zalar, S. 2007. Merjenje stroškov in koristi prenove informacijskega sistema v podjetju Panteon College. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Ekonomska fakulteta: 44 str.
- Zupančič, V. 2006. Amortizacija opredmetenih osnovnih sredstev. Ljubljana: Zveza finančnikov, računovodij in revizorjev, IKS št. 9-10; str. 30-34.