

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Univerzitetni program Gradbeništvo,
Konstrukcijska smer

Kandidat:

Anžej Kne

Odločanje v vzdrževanju cestnih objektov: primer skupine nadvozov nad avtocesto.

Diplomska naloga št.: 2946

Mentor:

izr. prof. dr. Jana Šelih

Somentor:

Ksenija Marc

Ljubljana, 19. 4. 2007

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Anžej Kne izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom: **ODLOČANJE V VZDRŽEVANJU CESTNIH OBJEKTOV: PRIMER SKUPINE NADVOZOV NAD AVTOCESTO.**

Izjavljam, da prenašam vse materialne avtorske pravice v zvezi z diplomsko nalogo na UL, Fakulteto za gradbeništvo in geodezijo.

Ljubljana, 13. 04. 2007

(podpis)

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici doc. dr. Jani Šelih za strokovno pomoč in usmerjanje pri izdelavi diplomske naloge.

Hvala tudi somentorici Kseniji Marc, DARS-ovi izvršni direktorici za organizacijo gradenj in obnov, za sodelovanje in posredovanje podatkov, ki sem jih uporabil v diplomski nalogi. Zahvala pa gre tudi ostalim sodelavcem družbe DARS, ki so pri tem sodelovali.

BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

| | |
|-------------------------|--|
| UDK: | 656.1:6257:69(043.2) |
| Avtor: | Anžej Kne |
| Mentorica: | Doc. dr. Jana Šelih |
| Somentorica: | Ksenija Marc |
| Naslov: | ODLOČANJE V VZDRŽEVANJU CESTNIH OBJEKTOV: PRIMER SKUPINE NADVOZOV NAD AVTOCESTO. |
| Obseg in oprema: | 107 strani, 51 slik, 24 preglednic |
| Ključne besede: | gospodarjenje, cestna infrastruktura, nadvozi, baza podatkov, model propadanja, sistem za podporo odločanju, informacijski sistem |

Izvleček

V razvitem svetu predstavlja cestna infrastruktura pomemben delež javnega premoženja, ki je v času svoje uporabe izpostavljen procesu propadanja, zaradi česar se njegova vrednost znižuje. Zato je ključno vprašanje, kako bomo s tem premoženjem upravljali, da bo njegova izguba vrednosti čim manjša. Tipična naloga cestnih upravljavcev je sprejemanje odločitev glede vzdrževanja, popravila ter obnove na podlagi podatkov o obstoječem stanju infrastrukture, tveganosti njene uporabe, stroškov življenjskega cikla, starosti itd. Cestna infrastruktura je po svoji sestavi raznolika, zato je optimalna izbira intervencij celotnega omrežja delikatna in ponavadi prepuščena subjektivnim presojam upravljavcev.

V diplomski nalogi sem pregledal posamezne faze upravljanja s cestno infrastrukturo, pri čemer je bil glavni namen izdelava odločitvenega modela za določanje vrstnega reda obnove za izbrano skupino objektov, ki sestoji iz sedemindvajsetih nadvozov nad avtocestnim odsekom od Arje vasi do Slivnice. V ta namen sem najprej pregledal stanje objektov in jih primerjal z že obstoječimi ocenami iz rednih pregledov. Nato sem izdelal ter predstavil prototip strukturirane podatkovne zbirke podatkov o obravnavanih nadvozih, s pomočjo katerega lažje dostopamo do razpoložljivih podatkov. Končni cilj naloge je določitev vrstnega reda izvajanja obnovitvenih del ter ob finančni omejitvi izbira tiste skupine nadvozov, ki najbolje izpolnjuje dane kriterije ter zato rezultira v največji skupni koristi. Rezultati kažejo, da so v odločitvenem procesu izjemno pomembni uporabljeni kriteriji, ki morajo obdržati dejanske pogoje in potrebe uporabnikov.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

| | |
|-------------------------------|---|
| UDC: | 656.1:6257:69(043.2) |
| Author: | Anžej Kne |
| Supervisor: | Assist. Prof. Jana Šelih, Ph. D. C. E. |
| Co-supervisor: | Ksenija Marc |
| Title: | DECISION MAKING IN ROAD INFRASTRUCTURE MAINTENANCE: A CASE STUDY OF HIGHWAY CROSSOVERS |
| Volume and appendices: | 107 pages, 51 pictures, 24 tables |
| Key words: | road infrastructure management, crossovers, deterioration model, decision support system, database management system |

Abstract

In developed economies, road infrastructure presents a significant part of the public assets. During its use, it is exposed to various deterioration processes that lead to depreciation of its financial value. It is therefore of vital importance to manage these assets so that the loss of their value with time is reduced to a minimum. A typical task of road managers is making decisions related to maintenance, repair and rehabilitation, which is based on data regarding the existing condition, risk of its use, life cycle costs, age etc. Road infrastructure is diverse, therefore the optimal choice of planned interventions is a delicate task often left to subjective judgement of road managers.

The main goal of the thesis is development of a decision support system to determine the priority ranking of asset rehabilitation projects for the selected case study that consists of 27 crossovers over a highway section from Arja vas to Slivnica. An overview of the sequence of the road infrastructure management phases is first presented in the thesis. The condition of the crossovers was assessed and compared to the existing grades obtained by regular inspections. A prototype structured database that facilitates the acces to the available data was developed. Priority ranking of asset rehabilitation projects was carried out by using the developed decision support system that includes the budget constraint option. The selected set of asset rehabilitation projects meets best the pre-defined combination of several criteria and therefore results in largest overall benefit. The results show that the selection criteria employed in the decision process are crucial for the obtained results. The selected criteria should therefore reflect the actual conditions related to the assets and the needs of the users.

VSEBINA

| | |
|---|------|
| KAZALO SLIK | X |
| KAZALO PREGLEDNIC | XII |
| SLOVARČEK..... | XIII |
| SEZNAM UPORABLJENIH OZNAK | XIV |
| 1. Uvod..... | 1 |
| 1.1 Predstavitev problema | 1 |
| 1.2 Namen diplomske naloge | 2 |
| 1.3 Vsebina diplomskega dela..... | 4 |
| 2. Metodologija upravljanja ceste infrastrukture..... | 5 |
| 2.1 Splošno | 5 |
| 2.2 Razmere v Sloveniji | 8 |
| 2.2.1 Spremljajoča zakonodaja | 10 |
| 2.2.2 Skupina nadvozov nad izbranim avtocestnim odsekom | 11 |
| 3. Pregled literature | 13 |
| 4. Pregledi in ocene stanja objektov | 15 |
| 4.1 Splošno o pregledih | 15 |
| 4.2 Opis izvajanja pregledov v Sloveniji..... | 16 |
| 4.3 Slikovna baza podatkov..... | 18 |
| 4.4 Ocenjevanje stanja objektov..... | 19 |
| 4.4.1 Metodologija | 19 |
| 4.4.2 Inženirske osnove za računalniško obdelavo poročil o pregledu premostitvenih objektov | 21 |
| 4.4.3 Osnove numeričnega ocenjevanja objektov..... | 23 |
| 4.5 Skupina nadvozov nad izbranim avtocestnim odsekom..... | 26 |

| | | |
|--------------------------|---|-----|
| 4.6 | Poškodbe nadvozov | 28 |
| 4.6.1 | Spodnja konstrukcija | 30 |
| 4.6.2 | Prekladna konstrukcija | 32 |
| 4.6.3 | Cestišče | 33 |
| 4.6.4 | Oprema objekta | 38 |
| 4.7 | Modeliranje propadanja objektov | 39 |
| 4.7.1 | Markovski verižni model propadanja objektov | 41 |
| 5. | Predstavitev prototipne zbirke podatkov | 47 |
| 5.1.1 | Izdelava baze podatkov za primer skupine nadvozov nad avtocestnim odsekom | 47 |
| 6. | Določanje vrstnega reda vzdrževalnih in obnovitvenih del na nadvozih | 52 |
| 6.1 | Uvod v odločanje | 52 |
| 6.2 | Metodologija odločanja | 53 |
| 6.2.1 | Sistemi za podporo odločanju | 54 |
| 6.2.2 | Večparametrsko odločanje | 56 |
| 6.2.3 | Faze odločitvenega procesa | 59 |
| 6.2.4 | AHP (analytical hierarchy process) | 61 |
| 6.3 | Skupina nadvozov nad izbranim avtocestnim odsekom in odločanje | 69 |
| 6.3.1 | Obnova in zamenjava nadvozov | 69 |
| 6.3.2 | Izdelava prioritete obnovitvenih projektov za skupino nadvozov | 74 |
| 7. | Zaključki naloge | 100 |
| VIRI IN LITERATURA | | 104 |

KAZALO SLIK

| | |
|--|----|
| Slika 1: Cikel upravljanja cestne infrastrukture..... | 6 |
| Slika 2: Shematični prikaz skupnih stroškov za idealen vzdrževalni plan | 7 |
| Slika 3: Shematični prikaz skupnih stroškov za pomanjkljiv vzdrževalni plan..... | 7 |
| Slika 4: Postopek ocenjevanja konstrukcij..... | 20 |
| Slika 5: Stopničast prehod na most zaradi posedkov pod krajnim opornikom..... | 30 |
| Slika 6: Posedki pod krajnim opornikom in poškodovana brežina nasipnega stožca..... | 31 |
| Slika 7: Posedki pod krajnim opornikom in poškodovana obloga nasipnega stožca..... | 31 |
| Slika 8: Poškodovan nasipni stožec – erozija | 31 |
| Slika 9: Korozija armature na krilu nadvoza | 32 |
| Slika 10: Krušenje nosilnega stebra..... | 32 |
| Slika 11: Razpadanje glavnega nosilca..... | 32 |
| Slika 12: Korozija na površini nosilne plošče nadvoza | 33 |
| Slika 13: Kristalizirana sol na površini nosilne plošče nadvoza..... | 33 |
| Slika 14: Razpoka robnega venca zaradi utesnjenosti elementov..... | 33 |
| Slika 15: Razpadanje robnega venca zaradi zunanjih vplivov..... | 34 |
| Slika 16: Razpoka na hodniku nadvoza zaradi posedkov krajnega opornika..... | 34 |
| Slika 17: Zamašen vtočni del izlivnika | 34 |
| Slika 18: Rastje na cestišču zaradi kopičenja prsti | 35 |
| Slika 19: Propadanje betonskega robnika | 35 |
| Slika 20: Odstop robnika od hodnika..... | 35 |
| Slika 21: Razpoke asfaltnega vozišča na nadvozu..... | 36 |
| Slika 22: Poškodovan kovinski profil dilatacije | 36 |
| Slika 23: Razpoka v vozišču na mestu dilatacije..... | 36 |
| Slika 24: Pesek na cestišču | 37 |
| Slika 25: Pretanek krovni sloj betona robnega venca, ki vodi k pojavu korozije armature..... | 37 |
| Slika 26: Razpadanje robnega venca | 37 |
| Slika 27: Korodirana ograja ob vpetju | 38 |
| Slika 28: Korozija ograje za pešce na nadvozu..... | 38 |

| | |
|--|----|
| Slika 29: Zamaknjena kanaleta za odtok vode – zaradi posedkov | 38 |
| Slika 30: Dejanska krivulja propadanja pomanjkljivo vzdrževanega, redno vzdrževanega in rehabilitiranega objekta | 40 |
| Slika 31: Krivulje propadanja za posamezne variante prehodnih matrik | 46 |
| Slika 32: MS Access: povezave v bazi podatkov | 49 |
| Slika 33: MS Access: uporabniški vmesnik z dostopom do posameznih atributov z možnostjo neposrednega dostopa do dokumentov | 49 |
| Slika 34: MS Access: uporabniški vmesnik - meni »Spodnja konstrukcija« | 50 |
| Slika 35: MS Access: uporabniški vmesnik - meni »Prekladna konstrukcija« | 50 |
| Slika 36: MS Access: uporabniški vmesnik - meni »Cestišče« | 51 |
| Slika 37: MS Access: uporabniški vmesnik - meni »Oprema objekta« | 51 |
| Slika 38: Štiri faze pri procesu odločanja | 55 |
| Slika 39: Ciklogram iterativnega postopka odločanja z metodo nahrbtnika | 58 |
| Slika 40: Večparametrski odločitveni model | 59 |
| Slika 41. Drevesna struktura niza kriterijev | 62 |
| Slika 42: Umestitev kriterijev v drevesno strukturo | 66 |
| Slika 43: Določanje funkcije F1 | 80 |
| Slika 44: Določanje funkcije F2 | 81 |
| Slika 45: Programsko okolje Solver | 85 |
| Slika 46: Kazalniki nadvozov za kriterij RCO | 86 |
| Slika 47: Kazalniki nadvozov za kriterij SN | 88 |
| Slika 48: Kazalniki nadvozov za kriterij Z | 90 |
| Slika 49: Kazalniki nadvozov za kriterij IS | 92 |
| Slika 50: Kazalniki nadvozov za SON | 94 |
| Slika 51: Koristi 5-kriterialnega odločanja za posamezne nadvoze | 97 |

KAZALO PREGLEDNIC

| | |
|---|----|
| Preglednica 1: Kategorije javnih cest v Sloveniji | 9 |
| Preglednica 2: Primerjava kodificirane ocene stanja in ratinga celotnega objekta..... | 24 |
| Preglednica 3: Največji možen RCO za različne vrste nosilnih elementov..... | 25 |
| Preglednica 4: Največji možen RCO za različne materiale objektov | 25 |
| Preglednica 5: Seznam pregledanih nadvozov ter njihovi ratingi, določeni med zadnjim rednim pregledom | 27 |
| Preglednica 6: Vplivi na trajnost betonskih cestnih objektov..... | 29 |
| Preglednica 7: Pregled tipičnih poškodb pregledanih nadvozov | 30 |
| Preglednica 8: Slučajni indeks I_R v odvisnosti od dimenzije matrike..... | 65 |
| Preglednica 9: Primerjalna matrika A | 66 |
| Preglednica 10: Tvorba prioritetnega vektorja iz normalizirane primerjalne matrike A..... | 67 |
| Preglednica 11: Pomožni produkt za izračun λ_{\max} | 67 |
| Preglednica 12: Oznake in postavke za skupino nadvozov | 71 |
| Preglednica 13: Podatki, izračun razlike med LCCO in LCCZ za posamezne nadvoze | 73 |
| Preglednica 14: Vrednosti parametrov odločanja za posamezne nadvoze | 77 |
| Preglednica 15: Kazalniki parametrov za posamezne nadvoze | 78 |
| Preglednica 16: Skupni stroški obnove nadvozov za variante glede na upoštevanje združevanja sanacij ter indirektnih stroškov..... | 83 |
| Preglednica 17: Rezultati odločanja za kriterij RCO | 87 |
| Preglednica 18: Rezultati odločanja za kriterij SN | 89 |
| Preglednica 19: Rezultati odločanja za kriterij Z..... | 91 |
| Preglednica 20: Rezultati odločanja za kriterij IS..... | 93 |
| Preglednica 21: Rezultati odločanja za kriterij SON | 95 |
| Preglednica 22: Preferenčne relacije kriterijev | 96 |
| Preglednica 23: Primerjalna matrika izbranih kriterijev | 97 |
| Preglednica 24: Rezultati 5-kriterialnega odločanja | 98 |

SLOVARČEK

| | |
|--|--|
| <i>acceptance inspections</i> | sprejemni pregled |
| <i>analytical hierarchy process</i> | analitični hierarhični proces |
| <i>bridge management system</i> | informatijski sistem za upravljanje mostov |
| <i>choice phase</i> | faza izbire |
| <i>constraints</i> | vezi |
| <i>data management component</i> | komponenta za upravljanje s podatki |
| <i>decision support system</i> | sistem za podporo odločanju |
| <i>design phase</i> | faza načrtovanja |
| <i>deterioration model</i> | model propadanja |
| <i>framework</i> | zasnova, ogrodje |
| <i>general inspection</i> | redni pregled |
| <i>guarantee inspections</i> | garancijski pregled |
| <i>implementation phase</i> | faza izvedbe |
| <i>inspection procedure</i> | pregledovalna procedura |
| <i>intelligence phase</i> | faza poizvedovanja |
| <i>knapsack</i> | nahrbtnik |
| <i>major inspection</i> | glavni pregled |
| <i>model management component</i> | komponenta modeliranega upravljanja |
| <i>Pareto optimality</i> | Paretova optimalnost |
| <i>pictorial database</i> | slikovna zbirka podatkov |
| <i>priority vector</i> | prioritetni vektor |
| <i>rating</i> | numerična ocena stanja objekta |
| <i>routing</i> | določevanje optimalnih poti |
| <i>sensitivity analysis</i> | občutljivostna analiza |
| <i>special inspection</i> | detajlni pregled |
| <i>superficial inspection</i> | splošni pregled |
| <i>user interface management component</i> | komponenta upor. vmesnika za upravljanje |
| <i>visual guide</i> | vizualni vodnik |

SEZNAM UPORABLJENIH OZNAK

| Postavka | Oznaka |
|--------------------------------------|---------------|
| Tlorisna površina nadvoza | TPN |
| Povprečni letni dnevni promet | PLDP |
| Dolžina zapore | DZ |
| Cena nadvoza | CN |
| Čas zamenjave nadvoza | ČZN |
| Stroški zamenjave nadvoza | SZN |
| Stroški rušenja nadvoza | SRN |
| Čas obnove nadvoza | ČON |
| Cena obnovitvenih del | COD |
| Stroški obnove nadvoza | SON |
| Amortizacijska doba | AD |
| Stroški vzdrževanja | SV |
| Stroški zapore pri zamenjavi | SZZ |
| Stroški zapore pri obnovi | SZO |
| Indirektni stroški | is |
| Indirektni stroški obnove | ISO |
| Indirektni stroški zamenjave | ISZ |

1. Uvod

1.1 Predstavitev problema

Javna infrastruktura predstavlja velik in pomemben delež celotne obstoječe infrastrukture v večini razvitih držav. Glede na lastništvo jo v splošnem delimo na tisto, ki je v lasti federacije, države, regije, mestnih občin, lokalnih skupnosti, javnih ustanov (univerze, najrazličnejših šol, bolnišnic itd.) ali podjetij, v nekaterih državah pa se pojavljajo tudi že prvi zametki javno-zasebnega partnerstva, v okviru katerega z določenim infrastrukturnim objektom gospodari zasebni partner. V sodobnem svetu predstavlja premoženje v obliki javne infrastrukture nedvomno pomemben delež vsega premoženja, ki ga pojmuje v okviru določene države, kar je logično, saj je infrastruktura ena izmed osnov, ki omogoča upravljanje sleherne gospodarske dejavnosti. Infrastruktura je torej izredno širok pojem in zajema energetske objekte, ceste, železnice, komunalne naprave, vodovodne naprave, elektro omrežja, informacijsko komunikacijska omrežja itd. Gibanje ljudi in blaga ima v sodobnem svetu pomembno vlogo, zato so gradnja, vzdrževanje ter posodabljanje prometne infrastrukture v današnjem času izjemno aktualne dejavnosti.

Nivo obnašanja med uporabo kateregakoli gradbenega objekta, tudi infrastrukture, s časom pada. Vzdrževanje, popravilo ter obnova so zato nujni sestavni deli upravljanja javne infrastrukture, ki zagotavljajo ohranjanje njene vrednosti ter funkcionalnosti v obdobju načrtovane življenjske dobe.

V diplomski nalogi se omejujem na vzdrževanje, popravila ter obnovo cestne infrastrukture, kjer kot primer obravnavam skupino nadvoзов nad avtocesto. Vzdrževanje v tem kontekstu predstavlja najbolj osnovna opravila, ki ohranjajo cestno infrastrukturo v sprejemljivem stanju in so običajno določena že v projektni dokumentaciji. Popravilo se nanaša na odpravljanje specifičnih poškodb, ki nastanejo na cestni infrastrukturi in predstavljajo oviro za njeno nemoteno delovanje. Pri obnovi pa gre za temeljitejše ukrepe, ki naj bi objekt povrnili v prvotno fizično in funkcionalno stanje. Potrebe po obnovi so skoraj vedno posledica pomanjkljivega vzdrževanja, razen v primeru izrednih dogodkov. Po mnenju stroke v svetu so ravno te gradbene aktivnosti bolj problematične kot sama izgradnja tako cestne kot druge infrastrukture (Miyamoto, 2006). Za nemoteno funkcioniranje cestne infrastrukture naj bi po

raziskavah v EU letni vložek za vzdrževanja, popravila in obnove znašal od 1 do 2% celotne vrednosti infrastrukture (COST 345, 2000). Vse prepogosto pa se dogaja, da je v ta namen porabljenih veliko manj sredstev, kot bi bilo potrebno, da bi se to veliko javno premoženje ohranjalo v sprejemljivem stanju.

Le nadomestna vrednost mostov in viaduktov je v EU ocenjena na približno 400 bilijonov evrov (COST 345, 2002), povprečna cena kilometra avtoceste pa v EU znaša od 4 do 150 milijonov evrov (DARS, 2007). Na slovenskem omrežju avtocest in hitrih cest je trenutno zgrajenih okoli 450 km štiripasovnic in dvopasovnic ter preko 850 cestnih objektov (Marc, 2006).

Navedene ocene vrednosti cestne infrastrukture nedvoumno kažejo, da je nujno uvesti takšen program vzdrževanja in obnove, ki bo v daljšem časovnem obdobju zagotavljal kar najmanjšo izgubo vrednosti tega javnega kapitala.

1.2 Namen diplomske naloge

Primeri v svetu kažejo, da zahteva uvedba učinkovitega programa vzdrževanja in obnove poleg potrebnega znanja in določene izkušnosti koncesionarjev tudi računalniško podprt podatkovni sistem (*»database management system«*), ki vsebuje ažurno in sistematično zbirko podatkov celotnega cestnega inventarja in dodatne module, ki skrbijo za učinkovit dostop do podatkov, pomagajo pri odločanju, modelirajo obnašanje objektov v prihodnosti itd.

V Sloveniji potrebe na tem področju še niso dosegle te stopnje, da bi bil takšen informacijski sistem vzpostavljen, vendar lahko v prihodnosti zaradi večjega števila starejših cestnih objektov, zlasti na avtocestnem omrežju, pričakujemo potrebe tudi po takšnih orodjih, ki bodo cestnim upravljavcem omogočala optimizirati izbor intervencijskih projektov, vezanih na vzdrževanje, popravilo in obnovo. Izdelava takšnega sistema je vsekakor zahteven in obsežen projekt, ki presega obseg diplomske naloge.

Diplomska naloga zato obravnava vzorec skupine sedemindvajsetih nadvozov nad avtocestnimi odseki od Arje vasi do Slivnice, za katerega želim izdelati optimalen vrstni red intervencijskih projektov nadvozov ter izbrati nadvoze za obnovo ob omejenih finančnih sredstvih na podlagi trenutnih razmer. Vzorec je dovolj reprezentativen, da lahko ugotovitev,

pridobljene na njegovi osnovi, posplošimo na celotno skupino nadvoзов nad avtocestami v Sloveniji. Ker zajema obravnavana skupina objektov najstarejše nadvoze nad avtocesto v Sloveniji, lahko nadalje tudi predpostavimo, da lahko dobljene zaključke uporabimo tudi za napovedovanje trendov drugih, mlajših podobnih objektov.

Delna cilja, potrebna za doseganje opisanega cilja dela, pa sta:

- izvedba pregleda izbranih objektov na terenu, pri katerem sem ocenil obstoječe stanje posameznih nadvoзов in ga primerjal z že obstoječimi ocenami, ki izvirajo iz rednih pregledov ter
- izdelava prototipne baze podatkov o obravnavani skupini objektov.

V svoji nalogi torej želim opozoriti slovenske upravljavce cestne infrastrukture, zlasti na področju avtocest, na novo obdobje, ko bodo potrebe po vzdrževanju in obnovi vse večje. Želim torej:

- pokazati, da mora sodoben in učinkovit način upravljanja cestne infrastrukture temeljiti na integriranem sistemu, ki vsebuje ažurno bazo podatkov in posebna orodja za pomoč pri odločanju;
 - pregledati, kaj je bilo na tem področju že storjenega;
 - pregledati obstoječe stanje skupine nadvoзов nad izbranim avtocestnim odsekom, ga oceniti in primerjati z že obstoječimi ocenami;
 - izdelati primer prototipne baze podatkov za skupino nadvoзов nad izbranim avtocestnim odsekom;
 - predstaviti delovanje sistema za podporo odločanju;
 - izdelati računski model odločanja za skupino nadvoзов;
 - izdelati vrstni red (prioriteto) vzdrževalnih/obnovitvenih del za skupino nadvoзов;
 - izbrati nadvoze za obnovo ob omejenih finančnih sredstvih in drugih zahtevah.
-

1.3 Vsebina diplomskega dela

Diplomsko delo je sestavljeno iz treh delov. V prvem, splošnem delu so opisani problematika in metodologija, ki se pojavlja v zvezi z upravljanjem cestnih objektov. Drugi in tretji del obravnavata že omenjeno skupino nadvozov nad izbranimi avtocestnimi odseki.

V drugem delu naloge sem predstavil zgradbo in elemente prototipne baze podatkov ter jo s pomočjo programa MS Access tudi izdelal. Prototipna baza tako vsebuje vse podatke, ki sem jih uporabil v kasnejšem, tretjem delu naloge.

V skladu z ugotovitvami iz prejšnjih delov opisuje tretji del diplomske naloge postopek določanja vrstnega reda intervencijskih vzdrževalnih/obnovitvenih projektov obravnavanih nadvozov na podlagi kriterijev, ki se uporabljajo v praksi. V tem sklopu ni predvidena izdelava računalniško podprtega sistema za podporo odločanju z uporabniškim vmesnikom, ki bi lahko omogočal splošnejšo uporabo, temveč je poudarek na preglednem računskem modelu sistema za podporo odločanju (*»framework«*), ki na osnovi večkriterijskega odločanja vodi do realnih rešitev.

Zaključki ter smernice za nadaljnjo delo so zbrani v zadnjem poglavju, ki mu sledi seznam uporabljenih virov.

2. Metodologija upravljanja ceste infrastrukture

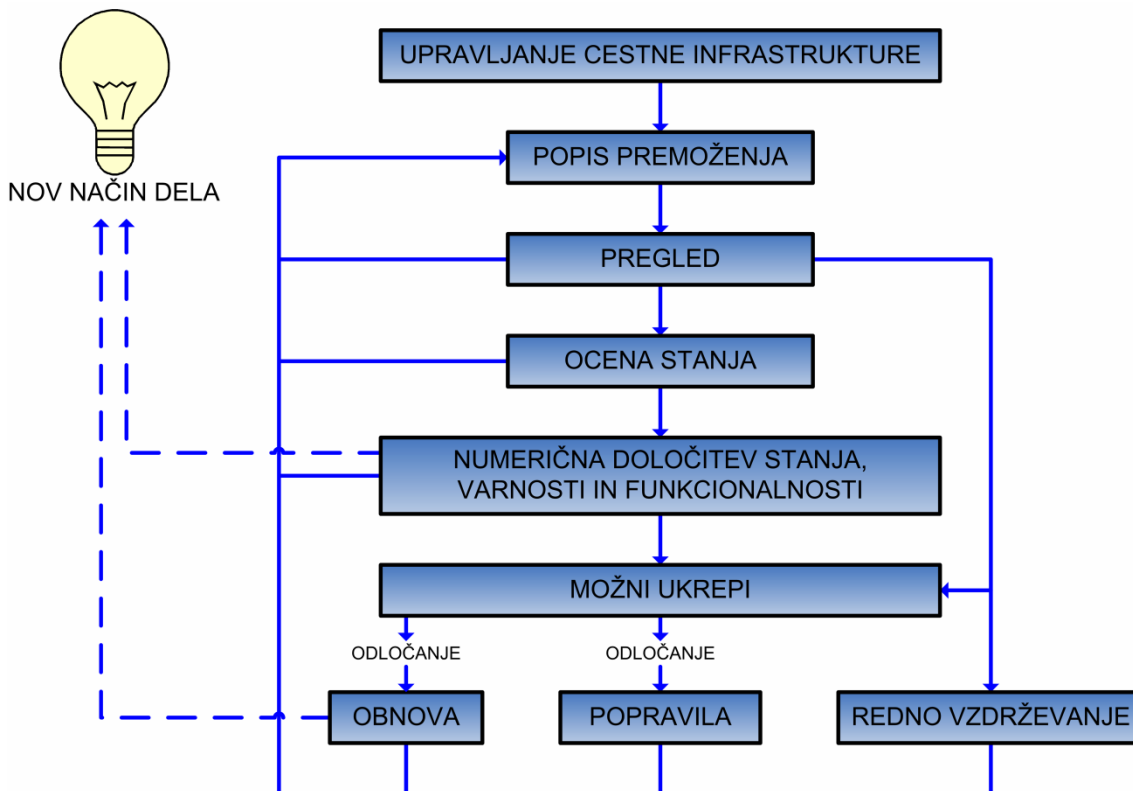
2.1 Splošno

Z upravljanjem cestne infrastrukture se navadno v imenu lastnika (federacije, države) ukvarjajo izbrani koncesionarji, za ceste nižjih kategorij pa lahko skrbi tudi lastnik sam (lokalne skupnosti, javne ustanove, javno zasebni partnerji). Ker je vrednost, s katero upravljamo, velika, razpoložljiva finančna sredstva pa omejena, je nujno potreben sistematičen pristop.

Shematični postopek upravljanja cestne infrastrukture je predstavljen na sliki 1. Upravljanje cestne infrastrukture se začne s popisom celotnega premoženja, s katerim upravljamo. Sledi terenski pregled popisane inventarja, na podlagi katerega določimo ocene stanja objektov. Ocene stanja v tem primeru zajemajo ocene fizičnega in funkcionalnega stanja kot tudi varnost objektov. V postopku ocenjevanja dobljene rezultate pretvorimo v kvantitativno oz. numerično obliko, saj so tako transformirani podatki prikladnejši za nadaljnjo obdelavo. Na podlagi pridobljenih numeričnih ocen objektov oz. ratingov sledi vrednotenje posameznih objektov glede na to, kako nujni so intervencijski ukrepi.

V procesu odločanja, ki sledi vrednotenju, nato izberemo (glede na vnaprej izbrane kriterije) najustreznejši nabor skupine objektov, na katerih bomo izvedli intervencijske ukrepe - popravilo ali obnovo objektov. Po morebitni končani obnovi ali popravilu objektov sledi ponovni popis premoženja in tako je cikel upravljanja cestne infrastrukture zaključen (slika 1). Izbira vrstnega reda obnove in metode numeričnega ocenjevanja stanja objektov pa sta področji upravljanja cestne infrastrukture, ki ju lahko še dodatno izboljšamo (slika 1).

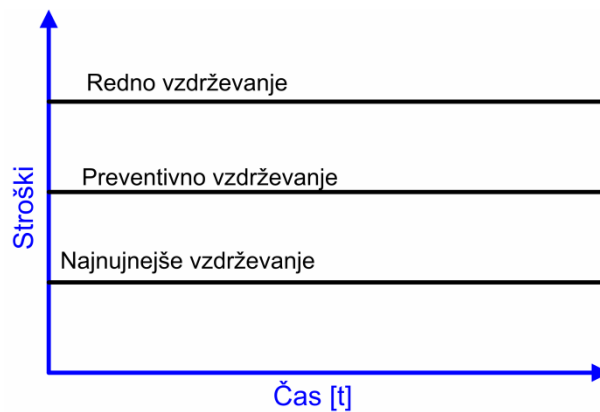
V postopek upravljanja cestne infrastrukture spada tudi redno vzdrževanje, ki ga upravljavec načrtuje v izbranem časovnem obdobju.



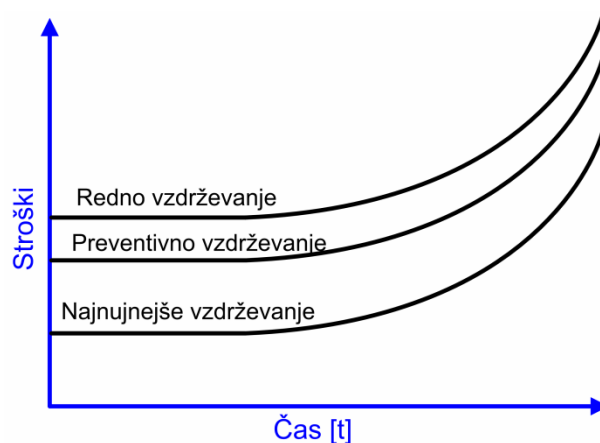
Slika 1: Cikel upravljanja cestne infrastrukture (COST 345, 2002)

Glede na izdatnost vzdrževanja lahko ločimo tri tipe vzdrževanja: redno vzdrževanje, preventivno vzdrževanje in najnujnejše vzdrževanje (COST 345, 2002). Pri rednem vzdrževanju že samo ime pove, da gre za vzdrževanje v vnaprej določenih, ustaljenih časovnih razmakih. S preventivnim vzdrževanjem predvsem želimo preprečiti napredovanje potencialnih poškodb, ki jih odkrijemo pri pregledu objekta. Namen najnujnejšega vzdrževanja pa je ohranitev minimalne varnosti konstrukcij.

Pri določanju sredstev za vzdrževanje cestne infrastrukture se moramo zavedati, kako velikega pomena je doslednost na tem področju. Že najmanjše odtegotanje sredstev, ki so namenjena vzdrževanju, lahko namreč dolgoročno gledano celo nekajkrat podraži skupne stroške. Stroški rednega vzdrževanja so namreč precej nižji, kot so stroški večje obnove dalj časa nevzdrževanih objektov (slika 2 in slika 3). Izvajalec rednega vzdrževanja mora zato o svojem delu voditi evidenco, iz katere mora biti razvidno, kdaj in katera dela so bila opravljena, obseg in trajanje del, potrošnja materialov, uporabljena delovna sila in mehanizacija ter drugi podatki o opravljenih delih.



Slika 2: Shematični prikaz skupnih stroškov za idealen vzdrževalni plan (COST 345, 2002)



Slika 3: Shematični prikaz skupnih stroškov za pomanjkljiv vzdrževalni plan (COST 345, 2002)

Tipična naloga slehernega upravljavca cestne infrastrukture je sprejemanje optimalnih intervencijskih planov oz. izdelava vrstnega reda vzdrževalnih/obnovitvenih del na podlagi podatkov o obstoječem stanju premoženja, ki pa so ponavadi pomanjkljivi, tveganosti projekta, stroškov projekta, stroškov celotnega življenjskega cikla objektov, proračunskih omejitev, indirektnih stroškov, vrste vzdrževalnih del, zelene stopnje obnove itd. Sredstva, namenjena za vzdrževanje in obnovo, so ponavadi veliko manjša od potreb, zato je nujno izdelati neko prioriteto investicij in izbrati tiste intervencijske projekte, ki najbolje izpolnjujejo cilje upravljavca. Ti cilji bi načeloma morali biti identični ciljem celotne družbe, ki ji obravnavana infrastruktura služi.

Zaradi pogosto konfliktnih kriterijev, ki so prisotni v procesu odločanja, pa je takšna naloga težavna in delikatna. To pomeni, da lahko že relativno majhna sprememba ocene, s katero

vrednotimo rešitev glede na določen kriterij, vodi do povsem drugih prednostnih investicij. Poleg tega je relativno enostavno izbrati intervencijski projekt za tekoče leto, precej težje pa gre pri izbiri projektov za večletno obdobje. Ob vsem tem pa je sestava cestne infrastrukture že sama po sebi zelo raznolika, saj obsega mostove, viadukte, predore, nadvoze, podvoze in objekte na površini, pod zemljo ter v vodi. Posledično je pri tako širokem spektru gradbenih objektov enega upravljavca izredno težko medsebojno primerjati korist in cene izbranih projektov. Proces odločanja o vrstnem redu intervencijskih projektov ni samo sprejemanje odločitev na podlagi vnaprej določenih kriterijev, temveč se proces začne že precej prej pri zbiranju najrazličnejših podatkov in znanja. Zato je v sodobnem svetu za učinkovito opravljanje vzdrževalnih in obnovitvenih del cestne infrastrukture ključna vzpostavitev nekega sistema (*»database management system«*), ki vsebuje ažurno bazo podatkov in različna orodja za obdelavo podatkov (podatkovni filtri, modeli propadanja, modeli za pomoč pri odločanju itd.). Poleg neposredne koristi, ki jo sistem prinaša upravljavcem cestne infrastrukture, predstavlja takšen sistem tudi vir povratnih informacij za projektante ter izvajalce vzdrževalnih in obnovitvenih del.

2.2 Razmere v Sloveniji

Razmere, predstavljene v prvem poglavju, postajajo čedalje bolj aktualne tudi v Sloveniji. Obstoječa cestna infrastruktura, ki se s pospešeno izgradnjo avtocest še povečuje, predstavlja pomemben delež državnega premoženja, zato je še kako pomembno, kdo in na kakšen način bo s tem premoženjem upravljal.

Poleg že omenjenih razmer pa se pri nas pojavljajo tudi nekatere specifične. Slovenija je mlada, hitro razvijajoča se država in je trenutno na področju cestne infrastrukture usmerjena predvsem k hitri izgradnji avtocestnega križa skladno z Nacionalnim programom izgradnje avtocest (NPIA). Sami začetki gradnje avtocest na našem ozemlju segajo v leto 1970 nekdanje države. V samostojno Slovenijo smo prenesli relativno majhen delež avtocestnega omrežja. Do leta 1994, ko je bila sprejeta resolucija o NPIA, je bilo zgrajenih vsega komaj 200 km avtocest in hitrih cest, katerih upravljanje je kot koncesionar prevzela Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji (DARS d.d.) leta 1993. Dandanes upravlja DARS že s preko 450 km avtocest in hitrih cest, kar pomeni, da je bilo v obdobju uresničevanja NPIA od leta

1994 pa do danes zgrajenih več avtocest in hitrih cest kot prej v štiriindvajsetih letih. V celotnem načrtu, ki ga obsega NPIA, je predvidenih okoli 606 km avtocest in hitrih cest ter okoli 1200 cestni objektov. Vsekakor bo za našo mlado državo to izjemen dosežek na področju izgradnje cestne infrastrukture, vendar pa se vzporedno že približuje novo obdobje, ko bodo potrebe po vzdrževanju, popravilu in obnovi obstoječe infrastrukture vse večje. Cestna infrastruktura v Sloveniji je torej relativno mlada, kar pomeni, da je sedaj ravno pravšnji čas za priprave na prihajajoče izzive na tem področju. Reševanje tega problema pa bo zagotovo uspešnejše, če bomo znali izkoristiti dragocene izkušnje številnih držav, ki so se s tem problemom že dodobra soočile.

Cestna infrastruktura javnega značaja je v Sloveniji izključno v lasti države in lokalnih skupnosti (občin). V pripravi so sicer že določene zakonske osnove glede javno-zasebnega partnerstva, vendar praktičnega primera zaenkrat še nimamo. Ceste so glede na to, kakšno vlogo imajo v prometu, kategorizirane v več kategorij (preglednica 1). Upravljanje javnih poti in lokalnih cest izvaja praviloma lastnik – občina. Za upravljanje z državnimi cestami pa so odgovorni za to pristojni organi v imenu lastnika – države. Upravljanje glavnih, regionalnih in dela hitrih cest izvaja poseben organ v sklopu Ministrstva za promet - Direkcija Republike Slovenije za ceste (DRSC), avtoceste in preostali del hitrih cest pa upravlja Družba za avtoceste v Republiki Sloveniji (DARS d.d.).

Preglednica 1: Kategorije javnih cest v Sloveniji (DRSC, 2007)

| Kategorija ceste | Dolžina [km] | Lastnik | Upravljavvec |
|---------------------------------|---------------------|----------------|---------------------|
| Avtoceste | 411 | država | DARS |
| Hitre ceste - dvopasovne | 54 | država | DARS |
| Hitre ceste | 60 | država | DRSC |
| Glavne ceste | 972 | država | DRSC |
| Regionalne ceste | 4.810 | država | DRSC |
| Lokalne ceste | 13.814 | občina | občina |
| Javne poti | 18.245 | občina | občina |

2.2.1 Spremljajoča zakonodaja

V procesu upravljanja cestne infrastrukture se pojavljajo v Sloveniji poleg ekonomskih in tehničnih tudi zakonske zahteve. Ti se nanašajo na kategorizacijo cest, lastništvo cest, koncesijska razmerja, gradnjo cest ter vzdrževanje in pregledovanje cest. Zakonske osnove so običajno podane v obliki zakonov, predpisov, pravilnikov, pogodb, standardov itd. Področje upravljanja cestne infrastrukture se zato pogosto dotakne zakona o javnih cestah (ZJC, 1997), pravilnika o načinu označevanja javnih cest in o evidencah o javnih cestah in objektih na njih (1997), pravilnika o vrstah vzdrževalnih del na javnih cestah in nivoju rednega vzdrževanja javnih cest (1998) in tudi tehnična specifikacija za ceste.

V zvezi z ZJC se naprimer vodi evidenca vseh državnih cest (banka cestnih podatkov - BCP) za katero je pristojen DRSC. Čeprav v Sloveniji nimamo integriranega sistema za upravljanje cestne infrastrukture z vgrajenimi moduli za podporo odločanju, se organizirano zbiranje podatkov o državnih cestah v skladu z zakonom na DRSC izvaja od leta 1954 dalje, vodenje evidence cestnih podatkov v računalniški obliki kot BCP pa od leta 1974. Ta evidenca javnih cest je bila zasnovana kot računalniško vodena zbirka atributnih podatkov, ki služijo kot informacija pri upravljanju s cestami in pri izdelavi planov ter študij, potrebnih za različne nivoje odločanja. S svojim sistemom odsekov in stacionaž je določen tudi univerzalni šifrant, ki omogoča zbiranje najrazličnejših podatkov, vezanih na cestno omrežje (Marc, 2006).

Vzporedno z vodenjem zakonsko predpisanih evidenc o državnih cestah (BCP), za katere je zadolžen DRSC, je DARS kot upravljavec za svoje potrebe že pred leti oblikoval geografski informacijski sistem (GIS) kot spletni portal - prostorski informacijski sistem, ki združuje več različnih računalniških aplikacij. Le-ta uporabniku omogoča tako grafičen kot atributen prikaz podatkov po posameznih aplikacijah in slojih. Trenutno so v uporabi naslednje aplikacije (Marc, 2006):

GIS_DARS: Splošna GIS aplikacija, ki omogoča prostorske vpoglede, prostorska in atributna poizvedovanja, določevanje optimalnih poti (*»routing«*) in vrsto drugih funkcionalnosti. Poleg vseh geodetskih podlag vsebuje tudi:

- cestno omrežje,
 - dovoljenja za zapore,
 - aktualne dogodke na državnih cestah (zastoje, nesreče, zapore),
-

- lokacije stebričkov za klic v sili (SOS), cestninskih postaj, cestnih objektov ter vrsto drugih vsebin (banka cestnih podatkov).

GIS_DARS_ODKUPI: Specializirana GIS aplikacija, namenjena podpori spremljanja odkupa zemljišč. Poleg grafičnega dela zemljiškega katastra je omogočen dostop do atributnih in drugih podatkov zemljiškega katastra.

PSPP - katalog prostorskih podatkov: vsebuje seznam vseh tematskih sklopov in pripadajočih podatkov iz podatkovnega skladišča. Poleg pregleda osnovnih informacij nudi katalog tudi funkcionalnost izbire posameznih podatkov z namenom njihovega prenosa na delovno mesto uporabnika.

PZ - aplikacija za planiranje zapor: omogoča načrtovanje, optimiranje, spremljanje in potrjevanje zapor na celotnem državnem cestnem omrežju. Uporabnikom (predlagateljem) so na voljo različna orodja, komunikacijska sredstva in prostorski vpogledi, na osnovi katerih lahko učinkovito planirajo postavitve zapor.

Zaradi potrebe po večji informacijski podpori gospodarjenja s cestami in objekti namerava DARS v prihodnosti razširiti zbrane podatke BCP na portalu z dodatnimi vsebinami (poročila o pregledih, slikovni material ter podatki o elementih, kot so ograje, prometna signalizacija itd.) (Marc, 2006).

2.2.2 Skupina nadvoзов nad izbranim avtocestnim odsekom

Diplomska naloga obravnava skupino sedemindvajsetih nadvoзов nad izbranimi avtocestnimi odseki od Arje vasi do Slivnice. Vsi nadvozi so bili zgrajeni med letoma 1974 in 1976 in tako spadajo med najstarejše in najbolj dotrajane objekte slovenske avtocestne infrastrukture in kot takšni pri nas med prvimi kažejo povečane potrebe po vzdrževanju in obnovi v zadnjem času.

S stališča upravljanja z objekti gre pri nadvozih za konfliktno situacijo, saj gre za stičišče cest različnih kategorij; avtoceste in lokalne ceste, ki ju upravljata različni organizaciji.

DARS je pristojen za upravljanje z avtocestami vključno z njihovimi objekti. V primeru nadvoзов preko avtocest zajema koncesija, ki jo država podeljuje DARS-u, le upravljanje z njihovo nosilno konstrukcijo, s cesto (najpogosteje lokalno), ki poteka preko nadvoza, pa upravlja tamkajšnja občina oziroma DRSC. DARS torej nima pristojnosti za upravljanje s

cestišči in opremo nadvozov, čeprav je oboje integralni del nadvoza. Ob tem je nujno poudariti, da sta hitrost in intenziteta propadanja nosilne konstrukcije nadvoza v veliki meri odvisni od stanja cestišča objekta, ki poleg svoje osnovne funkcije nudi tudi zaščito nosilni konstrukciji. Zelo pomembno vlogo ima tudi oprema objekta (npr. zamašen izlivnik zaradi slabšega odtekanja vode predstavlja potencialno nevarnost za nosilno konstrukcijo). Na enem od obravnavanih nadvozov je pred kratkim popolnoma prerjavela zaščitna ograja izgubila stabilnost. Na srečo je ograja padla na »pravo stran«, torej na hodnik nadvoza, saj bi v nasprotnem primeru lahko deli porušene ograje na vozišču avtoceste povzročili znatno večje, če ne tragične posledice.

Čeprav družba DARS pozna vzroke za prekomeren propad konstrukcij nadvozov kot tudi potencialne nevarnosti porušitve njihove opreme (npr. prej opisanih zaščitnih ograj), nima pristojnosti, da bi lahko pravočasno ter ustrezno ukrepala. Ob tem velja tudi poudariti, da sta obnova in vzdrževanje cestišča ter opreme nadvoza neprimerno cenejša kot obnova nosilne konstrukcije.

V primeru, ko preko avtocestnega nadvoza poteka regionalna cesta, pride do absurdne situacije, saj gre za križanje dveh cest različnih upravljavcev, a vendar istega lastnika oziroma nosilca stroškov – države. Ker imajo vpleteni pristojni organi različne interese glede izbire prednostnih projektov, bi bilo nujno oblikovati takšne razmejitve pristojnosti med posameznimi udeleženci križanja različnih vrst cest, ki bi rezultirale v kar največjo skupno družbeno korist.

3. Pregled literature

V svetu se s problemi vzdrževanja in obnove cestne infrastrukture, pa tudi ostalega grajenega okolja, za razliko od Slovenije srečujejo že vrsto let. Največ izkušenj na tem področju imajo ZDA, Kanada, Japonska in večje države EU (predvsem skandinavske). Zaradi povečane stopnje dotrajanosti cestne infrastrukture in omejenih sredstev za vzdrževanje in obnovo le te se v zadnjem času s tega področja pojavlja v mednarodnih publikacijah veliko število zanimivih člankov (npr. Hallberg in Racutano, 2006; Morcous in Lounis, 2006), poleg tega pa je ta vedno bolj žgoča tema večkrat predmet obravnave tudi na različnih strokovnih srečanjih in kongresih (npr. Žnidarič in Bevc, 2000; Miyamoto, 2006; Guiping in Xin, 2006; Hegazy, 2006; Mendonca in soavtorji, 2006; Wenzel, 2006; Yanev, 2006; Al-dughaiter, 2006; Langevine in soavtorji, 2006; Singh in soavtorji, 2006; Elbehairy in soavtorji, 2006 itd.)

Na območju Evrope je bilo že leta 1989 ustanovljeno združenje FEHRL (*Forum of national european highway research laboratories*), katerega takratni namen je bil (Žnidarič in Bevc, 2000):

- izboljšati sodelovanje med evropskimi cestnimi laboratoriji;
- izboljšati sodelovanje med evropskimi cestnimi laboratoriji in upravami na področju razvoja cestne infrastrukture;
- spremljati stanje na področju raziskav na cestnem področju;
- omejiti nepotrebno podvajanje raziskav;
- izboljšati medsebojno informiranost o aktivnostih;
- omogočiti uspešno skupno nastopanje v programih Evropske Unije; itd.

Organizacija FEHRL ni bila ustanovljena neposredno zaradi reševanja problematike vzdrževanja in obnove cestne infrastrukture, temveč kot organ, ki uspešno koordinira aktualne zadeve znotraj tega področja v okviru Evropske unije, kasneje pa se je izkazala za uspešno tudi na področju samega vzdrževanja. Raziskovalna dejavnost v okviru združenja FEHRL je dandanes razdeljena na tri glavne sklope (Žnidarič in Bevc, 2000):

- na COST akcije,
 - na razvojno-raziskovalne projekte, ki so financirani iz programov Evropske unije,
 - na razvojno-raziskovalne projekte, ki so financirani v okviru dejavnosti FEHRL-a.
-

COST (*Co-operation in science and technology*) akcije obsegajo večji sklop (okoli 200) raziskovalnih aktivnosti na območju Evropske unije, ki delujejo na področju vseh znanosti in tehnologij. Njihovo delovanje temelji na principu povezovanja strokovnjakov iz vsaj petih držav, ki se ukvarjajo z določeno problematiko. Tako je potekalo na področju transporta na iniciativo in podporo združenja FEHRL kar devet COST akcij (Žnidarič in Bevc, 2000).

V zvezi s sodobno problematiko cestne infrastrukture je bilo veliko narejeno v akciji COST 345, ki obravnava postopke za vrednotenje cestnih konstrukcij in je bila uspešno zaključena leta 2002. Njen cilj je bil zbrati razpoložljive podatke o uporabljenih metodologijah za ocenjevanje poškodovanosti in varnosti objektov v različnih evropskih državah in pripraviti smernice za njihovo kar najbolj racionalno uporabo. Pri tej akciji je sodeloval tudi Zavod za gradbeništvo Slovenije. Na žalost tudi te akcije spremlja »večni problem« vključevanja novih ugotovitev in spoznanj v prakso. Za rešitev tega problema bi bilo zato v bodoče potrebno upravljavce cestne infrastrukture sistematično in bolj intenzivno vključevati v pripravo in implementacijo raziskovalnih programov tako na nacionalnem kot na mednarodnem nivoju (Žnidarič in Bevc, 2000).

4. Pregledi in ocene stanja objektov

4.1 Splošno o pregledih

Pregled objektov cestne infrastrukture opravimo vsakič, ko želimo (COST 345, 2002):

- preveriti, da posamezni objekti dovolj dobro služijo svojemu namenu, in da bodo svojemu namenu služili tudi v bližnji prihodnosti z dovolj veliko verjetnostjo; ter
- načrtovati in vrednotiti vzdrževalna dela, popravila in obnove objektov.

Ko se odločimo za pregled objektov na podlagi enega od navedenih razlogov, moramo biti pri pregledovanju pozorni predvsem na naslednje stvari (COST 345, 2002):

- odkrivanje napak in prvih znakov nevarnosti porušitve objektov,
- odkrivanje začetkov, napredovanja in vzrokov propadanja materialov,
- odkrivanje morebitnih sprememb pri uporabi objektov, ki lahko vplivajo na njihovo varnost in trajnost,
- vrednotenje učinkovitosti preteklih vzdrževalnih obnovitvenih del,
- oskrbo z informacijami, ki služijo za ocenjevanje obstoječih nosilnosti objektov in
- ocenjevanje stanja objektov.

Običajno poteka vzporedno procesu pregledovanja tudi proces ocenjevanje stanja objektov, čeprav gre za povsem različni dejavnosti. Pregledovanje objektov je običajno izvedeno s pomočjo ene od naslednjih tehnik (COST 345, 2002):

- vizualni pregled objektov,
 - testiranje na licu mesta,
 - odvzem vzorcev in njihovo preskušanje v laboratoriju,
 - monitoring,
 - uporaba orodij prometnega upravljanja (štetje prometa, tehtanje vozil v gibanju, itd.),
 - izpolnjevanje standardnih obrazcev (kontrolni list),
 - pisanje poročil in
 - zajemanje slikovnega gradiva.
-

4.2 Opis izvajanja pregledov v Sloveniji

Skupino vseh pregledov, ki jih v okviru neke države izvajamo na cestnih objektih, nekateri viri označujejo z izrazom »pregledovalni postopek« (*»inspection procedure«*). Sem spadajo vse vrste pregledov, ki se med seboj razlikujejo po natančnosti pregledovanja in pogostosti (frekvenci) ponavljanja. Praviloma se natančnejši pregledi pojavljajo poredkeje kot tisti bolj osnovni. Pregledovalni postopki se od države do države nekoliko razlikujejo, vendar večina držav, med njimi tudi Slovenija, sledi predlaganemu vzorcu pregledov iz poročila OECD (*Organisation for economic co-operation and development*), ki je bilo objavljeno leta 1992. Tipičen pregledovalni postopek, ki je skladen s priporočili (OECD, 1992), zajema naslednje vrste pregledov:

1. splošni pregled (*»superficial inspection«*),
2. redni pregled (*»general inspection«*),
3. glavni pregled (*»major inspection«*) in
4. detajlni pregled (*»special inspection«*).

V Sloveniji segajo začetki vzpostavitve ustaljenega pregledovanja in ocenjevanja cestnih objektov v obdobje med 1986 in 1988, ko je takratni ZRMK naredil raziskavo o poteku pregledovanja in ocenjevanja mostov znotraj večjih evropskih držav. Na podlagi rezultatov omenjene raziskave so takrat podali tudi prve smernice za »pregledovalni postopek« in ocenjevanje mostov v Sloveniji. Sprva so se določila nanašala le na mostove, od leta 1990 dalje pa na vse cestne premostitvene objekte.

Splošni pregled lahko opravljajo osebe, ki niso posebej usposobljene za pregledovanje cestnih objektov, zato pregled ponavadi opravi pregledovalna služba koncesionarja. Čeprav za opravljanje pregledov niso zahtevani kvalificirani pregledovalci, je pregled vendarle nekaj več kot bežna kontrola, saj poteka sistematično po celotnem objektu. Namen *splošnih pregledov* je oceniti najbolj splošno stanje objektov in odkriti tiste poškodbe, ki vodijo v večje stroške vzdrževanja, in ki predstavljajo potencialno nevarnost za uporabnike. Za obravnavano skupino avtocestnih nadvozov se naprimer ugotovitve *splošnih pregledov* beležijo v obratovalnem dnevniku, ki ga vodi za ta odsek pristojna DARS-ova avtocestna baza Slovenske Konjice. Pregled zajema vse vidne dele, še posebej tiste, ki so najbolj izpostavljeni

zunanjim vplivom. Pri tem so ponavadi predmet ogleda robni venec, robniki, hodniki, dilatacije, odvodnjavanje, izlivniki, zaščitna ograja itd.

Redni pregled pri nas opravljajo zunanji kvalificirani pregledovalci vsake dve leti. Zunanji kvalificirani pregledovalci so izbrani na podlagi predhodnega javnega razpisa, ki ga izda koncesionar. Gre za vizualni pregled vseh konstrukcijskih sklopov objekta, kot so prekladna konstrukcija, spodnja konstrukcija, cestišče in oprema objekta. Specialna oprema ni potrebna, saj ta vrsta pregleda ne zahteva opazovanja iz neposredne bližine. Poročilo pregleda obsega informacije o lokaciji objekta, vrsti objekta, šifri objekta ter vrsti, lokaciji, razširjenosti in jakosti ugotovljenih poškodb. Na podlagi teh informacij je v poročilu pregleda podana tudi ocena stanja objektov. Poročilo praviloma vsebuje tudi predlog o nadaljnjem vzdrževanju in priporočila za podrobnejše preglede. Za primer obravnavane skupine nadvoзов je zadnji redni pregled na podlagi razpisa družbe DARS opravil zunanji pregledovalec leta 2004 (Gradis Teo d.d.).

Glavni pregled poteka zelo podobno kot *redni pregled*, vendar se pri tem pregledu pregledujejo tudi težje dostopna mesta objektov. Za to moramo včasih uporabiti specialno opremo, ki nam omogoča opazovanje posameznih elementov objekta iz neposredne bližine. Pregled tako lahko obsega kontrolo temeljev in drugih elementov objektov, četudi so ti pod vodno gladino.

Poznamo tudi bolj specifične *glavne preglede*, kot so sprejemni pregledi (*»acceptance inspections«*) in garancijski pregledi (*»guarantee inspections«*). *Sprejemni pregledi* se opravljajo pred prevzemom novih objektov z namenom, da se ugotovijo morebitne napake izvajalcev. Podobno se izvajajo *garancijski pregledi* tik pred iztekom garancijske dobe.

Detajlni pregled se izvaja na podlagi predhodno izvedenega *rednega* ali *glavnega pregleda*, torej vedno, ko se izkaže potreba po podrobnejših informacijah o poškodbah. Lahko pa je usmerjen tudi k iskanju določenih poškodb objektov, ki so bile ugotovljene na podobnih objektih. Praviloma mimo tega pregleda ne bi smeli tudi objekti, na katerih se izvaja monitoring (stalen ali občasen). Gre za dodaten, bolj poglobljen pregled posameznih elementov objekta na podlagi terenskih in laboratorijskih preskušanj ter natančnejši popis ugotovljenih napak na posameznih elementih. Praviloma se posebni pregled izvede tudi po večjih nenavadnih dogodkih (naravne nesreče, poplave, potresi, plazovi, erozija, kemični

izlivi, večje prometne nesreče, povečana prometna obtežba itd.), ki lahko potencialno vplivajo na stanje objekta.

V primeru, da predstavlja odkrita poškodba na objektu veliko tveganje za uporabnike, mora pregledovalec objektov nemudoma ukrepati. Možni ukrepi zajemajo omejitev prometne obtežbe, dodatno podporo nosilne konstrukcije ali celo prepoved uporabe objekta. Objekt mora ostati »hospitaliziran« najmanj toliko časa, dokler niso znani podrobnejši podatki o stanju objekta.

Ugotovitve posameznih pregledov morajo biti natančno popisane in skrbno hranjene. Lahko jih zapisujemo v posebne standardne obrazce (kontrolni list) ali pa jih vnašamo v računalniško podprto zbirko podatkov, ki omogoča urejenost podatkov ter oblikovanje standardiziranega poročila o pregledu. Pri *glavnih pregledih* ter *posebnih pregledih* uporabljamo poleg standardnih obrazcev tudi detajlna poročila, ki podrobneje opredeljujejo diagnozo posameznih objektov.

4.3 Slikovna baza podatkov

Glavni problem pregledov objektov s pomočjo vizualne tehnike je subjektivnost pregledov, saj različni pregledovalci zaznavajo in obravnavajo iste napake na različne načine. Vsak pregledovalec ima svoj osebni slog pregledovanja, poleg tega tudi znanje pregledovalcev ni enako, zato se subjektivnosti težko izognemo. Korak k reševanju tega problema je pregledovanje objektov s pomočjo standardnih obrazcev. Takšen pristop sicer občutno zmanjšuje subjektivnost rezultatov pregledov, vendar je nevarnost površnega pregleda posameznih točk obrazca še vedno prisotna. Tudi sodobne in zmogljive zbirke podatkov, ki lahko na strukturiran način hranijo precejšnjo količino podatkov (tekstovno in slikovno gradivo), ne predstavljajo bistvene izboljšave na tem področju.

Subjektivnost je mogoče zmanjšati s pomočjo metode vizualnega vodnika (»*visual guide*«), ki pregledovalca vodi skozi celoten pregled objektov po posameznih elementih. Metoda je zaradi hitrega razvoja digitalne fotografije tehnološko izvedljiva že nekaj časa, vendar je še zelo slabo uveljavljena. Vzrok temu je zahtevna in dolgotrajna priprava ustrezne slikovne zbirke podatkov (»*pictorial database*«), ki ima v procesu ocenjevanja stanja vlogo vizualnega

vodnika. Slikovna zbirka mora imeti za posamezne elemente slikovne primere vseh možnih stanj, ki jih določen element lahko zavzame. Naloga pregledovalca konstrukcij bi bila za vsak element konstrukcije izbrati tisti primer stanja iz slikovnega vodnika, ki najbolj ustreza dejanskemu (Singh Ahluwalia, Hegazy, 2006). Poleg zmanjšanja subjektivnega zajemanja podatkov je dodatna prednost takšne metode pregledovanja tudi uspešna ločitev procesa pregledovanja in ocenjevanja konstrukcij, kar občutno poceni postopek pregledovanja in ocenjevanja. Običajni vizualni pregledi na terenu avtomatično v proces pregledovanja vključujejo tudi proces ocenjevanja obstoječega stanja objektov (*»rating«*), za to pa je potreben usposobljen in drag pregledovalec/ocenjevalec. V primeru pregledovanja s pomočjo vizualnega vodnika pa lahko vse potrebno gradivo terenskih pregledov za ocenjevanje stanja objektov zajame naprimer oseba, ki opravlja *splošne preglede*. Oceno stanja objektov pa lahko naknadno in na objektivni način določi skupina za to usposobljenih strokovnjakov na podlagi medsebojnega posvetovanja. Opisan način pregledovanja in ocenjevanja objektov lahko celoten postopek precej racionalizira in poceni.

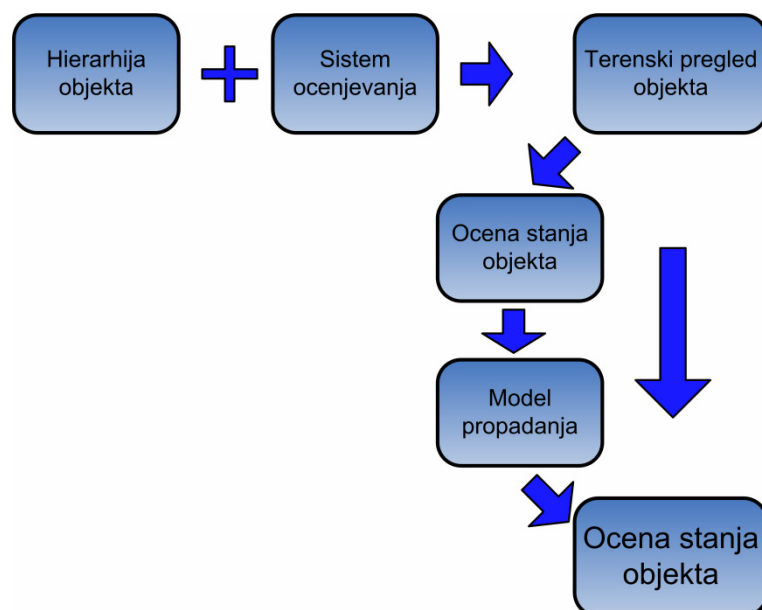
4.4 Ocenjevanje stanja objektov

4.4.1 Metodologija

Stanje objektov lahko opišemo kvantitativno ali pa kvalitativno. Kvalitativna ocena stanja je določena na podlagi kvalitativne ocenjevalne lestvice (npr. zelo dobro, dobro, zadovoljivo, slabo in kritično). Kvalitativne ocene stanja so torej diskretne ocene, kar pomeni, da se moramo vedno opredeliti za eno samo postavko ocenjevalne lestvice. Kvantitativna ocena stanja objektov pa je številčna ocena stanja in predstavlja neke vrste indeks poškodovanosti objekta, ki ga imenujemo tudi rating objekta. Večji ko je rating objekta, slabše je stanje objekta. V večini primerov določimo kvalitativno oceno stanja na podlagi predhodno izračunane kvantitativne ocene oziroma ratinga objekta.

Stanje objektov je neposredno odvisno od stanja njihovih gradnikov. Da lahko ugotovimo, kako posamezno stanje gradnikov vpliva na celotno stanje objekta, je nujna hierarhična razvrstitev posameznih gradnikov. Na dnu hierarhične strukture se nahajajo posamezni elementi objektov. Elementi objektov so sestavni deli posameznih konstrukcijskih sklopov, ti pa sestavljajo celoten objekt. Enaka poškodba na različnih delih objekta ne predstavlja enake

grožnje za objekt, zato moramo posamezne dele hierarhične strukture temu primerno utežiti. Za to lahko uporabimo metodo AHP (*»analytical hierarchy process«*), ki jo je razvil Saaty leta 1980. Podobne težave se pojavljajo tudi pri uteževanju parametrov (kriterijev in podkriterijev (atributov)) pri modelu večparametrskega odločanja, zato bomo podrobneje o metodi AHP govorili kasneje. Razen hierarhične razčlenitve objektov in metode AHP, s pomočjo katere opredelimo vpliv mesta poškodbe, pa moramo za ocenjevanje objektov poznati še ostale parametre ocenjevanja. V skladu z definirano lestvico ocenjevanja moramo določiti še numerične vrednosti, ki opredeljujejo vrsto poškodb, jakost poškodb ter njihovo razširjenost. V fazi pregledovanja ugotavljamo in beležimo posamezne poškodbe, v fazi ocenjevanja pa za te poškodbe določimo numerično vrednost. Numerična vrednost, ki pripada posameznim poškodbam, je torej zmnožek naslednjih faktorjev: faktorja dela objekta (določimo po AHP), faktorja vrste poškodbe, faktorja jakosti poškodbe in faktorja razširjenosti poškodbe. Dobljene numerične vrednosti, ki izražajo vpliv posameznih poškodb, nato seštejemo po vseh elementih in dobimo rating objekta. Oceno stanja objektov lahko določimo neposredno na osnovi pregledov objektov ali pa s pomočjo ustreznega modela propadanja objektov (*»deterioration model«*) in neke referenčne (izhodiščne) ocene stanja (slika 4).



Slika 4: Postopek ocenjevanja konstrukcij

4.4.2 Inženirske osnove za računalniško obdelavo poročil o pregledu premostitvenih objektov (ZRMK)

V preteklosti je rezultat pregleda premostitvenih objektov poleg subjektivnih opisov poškodb vseboval eno samo oceno stanja. Ta je bila največkrat določena na osnovi subjektivne presoje pregledovalca.

Sodobni trendi v svetu narekujejo računalniško zajemanje in obdelavo ugotovitev pregleda. Temu primerno so oblikovana tudi končna poročila posameznih pregledov. Za pregledovanje premostitvenih objektov je Zavod za raziskavo materialov in konstrukcij (ZRMK) v prejšnjem desetletju razvil računalniški program oziroma sistem vrednotenja objektov, ki temelji na naslednjih inženirskih osnovah:

- pregledovalec mora pri pregledovanju objektov (premostitvenih) uporabljati enotna besedna gesla,
- poročila o pregledu premostitvenih objektov morajo imeti izdelan predlog formata,
- ugotovitve pregleda morajo imeti izdelan predlog za statistično obdelavo.

Navedena programska oprema je namenjena zunanjim pregledovalcem, ki pregledujejo premostitvene objekte za posamezne koncesionarje. Poleg računalniško obdelanih poročil program omogoča tudi izračun številčne ocene stanja premostitvenih objektov. Vse poškodbe, ki jih zajamemo s pomočjo programa, so opisane po naslednjih postavkah:

1. del objekta, na katerem je bila poškodba ugotovljena;
2. eventualna dodatna oznaka dela in/ali položaja objekta ali njegovega elementa;
3. vrsta poškodbe;
4. območje poškodovanega objekta: polje, opornik ali opisna opredelitev prizadetega območja;
5. lokacija poškodbe v vzdolžni in prečni smeri glede na objekt in njen višinski položaj na elementu;
6. stopnja in dodatna opredelitev poškodbe;
7. velikost oziroma razširjenost poškodbe na območju ali lokaciji;
8. predlagani ukrepi za sanacijo poškodbe in
9. splošne ugotovitve.

V računalniškem zapisu so vse navedene postavke izražene s kratkimi in nedvoumnimi besednimi gesli. Vsakemu besednemu geslu pripada točno določena desetiška številčna koda, ki je namenjena predvsem kasnejši statistični obdelavi podatkov o stanju premostitvenih objektov. Poleg tega kode omogočajo tudi ročno beleženje ugotovitev pregleda v preglednico ustreznega formata in naknadno računalniško obdelavo ter oblikovanje poročil. Poškodba elementa je lahko s takšnim načinom kodiranja v celoti zapisana v številski obliki, saj stoji za vsako številsko kodo točno določeno besedno geslo. Na ta način je bila uspešno odpravljena dolgoletna praksa, ko so pregledovalci za opisovanje in vrednotenje enih in istih poškodb uporabljali različne izraze. Poleg tega je imel vsak pregledovalec svoj osebni stil pri sestavljanju poročila, kar je otežkočalo vsako nadaljnjo obdelavo.

Pregledovalcu na terenu opisana programska oprema omogoča neposreden vnos ugotovitev v prenosni računalnik in oblikovanje poročila. Sezname besednih gesel za opisovanje in vrednotenje poškodb so v programu za vse zgoraj navedene postavke dostopni preko menijev. Ko pregledovalec obravnava poškodbo na elementu objekta, zaporedoma odpira posamezne menije in v vsakem izbere besedno geslo, ki najbolje opredeljuje dano poškodbo in predlaga ukrepanje. Računalniški program akumulira številčne vrednosti poškodb posameznih komponent objektov in sproti izračunava številčno oceno stanja – rating premostitvenih objektov, zato rating objektov predstavlja neke vrste indeks poškodovanosti. Pri tem naj bi bil subjektivni vpliv posameznih pregledovalcev zmanjšan na minimum. Kljub celotnemu kodiranemu poročilu o pregledu pa je povzetek stanja ostal kot avtorski zapis pregledovalca.

Računalniška obdelava podatkov o stanju premostitvenih objektov na nekem območju upravljavcu omogoča zlasti:

- razvrščanje premostitvenih objektov glede na stopnjo poškodovanosti, ki je eden glavnih kriterijev za določitev prioritete vzdrževalnih in obnovitvenih del,
 - pregled nad najbolj značilnimi in pogostimi poškodbami na mostovih ali njihovih delih oziroma elementih.
-

4.4.3 Osnove numeričnega ocenjevanja objektov

Prejšnji razdelek opisuje splošnejši postopek pregledovanja in ocenjevanja objektov po sistemu, ki ga je razvil ZRMK. To poglavje pa se bo natančneje dotaknilo postopka numeričnega ocenjevanja objektov, ki ga je prav tako pripravil ZRMK. Kot že rečeno, so ratingi premostitvenih objektov izračunani na osnovi tipa, lokacije, pomembnosti, jakosti, razširjenosti poškodbe in temeljijo na akumuliranju računskih vrednosti poškodb posameznih delov objekta, ki se nahajajo na dnu hierarhične lestvice. Deli objektov po tej metodologiji pripadajo enemu od naslednjih štirih konstrukcijskih sklopov:

- spodnja konstrukcija,
- prekladna konstrukcija,
- cestišče,
- oprema objekta.

Določitev številčne vrednosti posamezne poškodbe:

$$R_i = K_A \times K_B \times K_2 \times K_3 \times K_4 \quad (1)$$

K_A – faktor dela objekta, kjer se poškodba nahaja (0,3 - 1)

K_B – faktor vrste poškodbe ali napake (1 - 5)

K_2 – faktor jakosti poškodbe (0,4 - 1)

K_3 – faktor razširjenosti poškodbe (0,5 - 1)

K_4 – faktor nujnosti intervencije (1 - 10)

Določitev delnih ratingov:

rating spodnje konstrukcije (RSK) = $\sum R_i$

rating prekladne konstrukcije (RPK) = $\sum R_i$

rating cestišča (RC) = $\sum R_i$

rating opreme objekta (ROO) = $\sum R_i$

Določitev ratinga celotnega objekta (RCO):

$$RCO = RSK + RPK + RC + ROO \quad (2)$$

Delni ratingi imajo različen vpliv na rating celotnega objekta (RCO). RCO dobro zastopata rating prekladne konstrukcije (RPK) in rating spodnje konstrukcije (RSK), medtem ko je korelacija med ratingom cestišča (RC) in ratingom opreme objekta (ROO) sicer opazna, vendar šibka.

Rating celotnega objekta (RCO) ustreza kvantitativni oceni stanja. Zaradi lažje predstavljalivosti in nadaljnje uporabe ocen stanja objektov pa je v računalniškem poročilu pregledov vključena tudi kodirana ocena stanja, ki je kvalitativni pokazatelj stanja in je primerljiva za različne vrste objektov iz različnih materialov. Običajno jo uporabljamo kot temeljni kriterij pri izdelavi vrstnega reda intervencijskih projektov. Kodirana ocena stanja pri tej metodologiji ni enolično določena z RCO, zato ni nujno, da imata dva različna objekta z enakima ratingoma enaki kodirani oceni stanja (preglednica 2).

Preglednica 2: Primerjava kodificirane ocene stanja in ratinga celotnega objekta (RCO)

| KODIRANA OCENA STANJA | RCO |
|------------------------------|------------|
| ZELO DOBRO (5) | 0 - 10 |
| DOBRO (4) | 5 - 20 |
| ZADOVOLJIVO (3) | 15 - 30 |
| SLABO (2) | 25 - 40 |
| KRITIČNO (1) | > 35 |

Vzrok prekrivanja RCO tiči v sami metodologiji. Nosilci v povprečju dosegajo precej višje maksimalne ratinge kot naprimer ločne konstrukcije. Podobno velja tudi za betonske objekte. Problem nastane zaradi velikega raztrosa maksimalnih RCO, ki so odvisni, kot sem že omenil, od tipa konstrukcije in vrste materiala (preglednica 3 in preglednica 4). Kadar želimo uporabiti RCO kot primerjalno oceno poškodovanosti za različne vrste nosilnih elementov in materialov premostitvenih objektov, moramo RCO pred tem ustrezno korigirati z dodatnimi faktorji. Korekcijo RCO v tem primeru vpeljemo preko ustreznega normiranja glede na maksimalne vrednosti RCO. V nasprotnem primeru, brez normiranja RCO, pa lahko kodirano oceno stanja poda le izkušen ocenjevalec. Zaradi vsega tega se zdi na prvi pogled po tej metodologiji določena kodirana ocena stanja subjektivna. Subjektivnemu ocenjevanju se povsem res ne moremo izogniti, vendar nam primerjave rezultatov ocenjevanja pri različnih ocenjevalcih na istih objektih kažejo, da imata parametra vrsta nosilnih elementov in material večji vpliv na napako RCO od subjektivnega ocenjevanja posameznih ocenjevalcev.

Preglednica 3: Največji možen RCO za različne vrste nosilnih elementov

| Vrste nosilnih elementov | Maksimalen rating celotnega objekta (RCO) |
|--------------------------|---|
| PLOŠČA | 80 |
| LOK | 50 |
| OBOOK | 50 |
| NOSILEC | 100 |
| OKVIR | 50 |
| TUNEL | 50 |

Preglednica 4: Največji možen RCO za različne materiale objektov

| Material objekta | Maksimalen rating celotnega objekta (RCO) |
|------------------------|---|
| ARMIRANI BETON | 80 |
| KAMEN | 50 |
| JEKLO-ARMIRANI BETON | 50 |
| KAMEN-ARMIRANI BETON | 50 |
| PREDNAPETI BETON | 100 |
| SOVPREŽNA KONSTRUKCIJA | 50 |
| JEKLO - LES | 50 |

Drug problem v zvezi z obravnavano metodologijo ocenjevanja objektov pa nastane, ko je potrebno izbran vzorec objektov razvrstiti po poškodovanosti. Velika večina objektov pade v srednje tri razrede: SLABO (2), ZADOVOLJIVO (3), DOBRO (4). V tem primeru lahko natančnejšo razvrstitev objektov izvedemo s pomočjo normiranih ratingov objektov, ki imajo vlogo primerjalne ocene poškodovanosti.

Poleg vsega tudi sam izračun RCO ni povsem točen, saj ga računamo ob predpostavki, da je zveza med RCO in delnimi ratingi linearna, kar ni res. Zaradi tega se v praksi opaža nedoslednost tega orodja, zlasti pri objektih preko več polj, kjer ponavljajoča se napaka nesorazmerno poslabša oceno stanja objekta. Pri konkretni nalogi, kjer obravnavamo skupino med seboj primerljivih nadvozov, pa ta pomanjkljivost nima vpliva na končne rezultate. Točnejši parcialni faktorji pri delnih ratingih bi bili lahko določeni na osnovi regresijske analize ali z uporabo bolj sofisticiranih orodij, kot so naprimer nevronske mreže.

Ugotovimo lahko, da je vprašanje, kako določiti rating celotnega objekta, ki bo ustrezal primerjalni oceni poškodovanosti, še vedno aktualno.

4.5 Skupina nadvozov nad izbranim avtocestnim odsekom

Skupina nadvozov, ki jo obravnavam v diplomski nalogi, se nahaja na avtocestnih odsekih od Slivnice do Arje vasi. Vzorec, za katerega želim določiti vrstni red intervencijskih projektov, obsega vsega skupaj sedemindvajset nadvozov starih nekaj čez trideset let (preglednica 6). Zadnji redni pregled nadvozov (2004) je opravilo podjetje Gradis Teo, ki je bilo izbrano z javnim razpisom. Postopek pregledov je opisan v poglavju 4.4.2.

Skupino nadvozov, ki jo obravnavam v diplomski nalogi, sem si ogledal tudi na terenu skupaj z uslužbencem družbe DARS. Poškodbe, ki sem jih opazil na objektih, se izredno dobro ujemajo s tistimi, ki so navedene v poročilu zadnjega rednega pregleda, kar pomeni, da ugotovitvam rednih pregledov lahko zaupamo. Kodirane ocene stanja objektov se med seboj zelo malo razlikujejo in v večini primerov znašajo DOBRO (4) (preglednica 5). Pojav množične konvergenca k določeni kodirani oceni stanja je za metodologijo, opisano v prejšnjem razdelku, že znan pojav, še posebej če gre za objekte podobnih starosti, vrste nosilnih tipov ter materialov. Zaradi tega v primeru avtocestnih nadvozov kodirana ocena stanja ne bo dovolj natančen kriterij, ki bi ga lahko uporabili pri izdelavi vrstnega reda intervencijskih projektov. Po drugi strani pa sta parametra konstrukcijski tip in material objektov za vse nadvoze dovolj podobna, da za primerjavo stanja objektov uporabimo kar ratinge celotnih objektov (RCO), ti so namreč dovolj različni (preglednica 5).

Preglednica 5: Seznam pregledanih nadvozov ter njihovi ratingi, določeni med zadnjim rednim pregledom (DARS, 2007)

| Šifra odseka | Opis odseka | Šifra nadvoza | Kraj pojavitve | Ime premoščane ceste | Upravitelj premoščane ceste | Rating celotnega objekta | Kodificirana ocena stanja | Leto izgradnje | Izvajalec gradnje |
|--------------|----------------------------|---------------|----------------|----------------------|-----------------------------|--------------------------|---------------------------|----------------|-------------------|
| 0034 | Slivnica | VA0055 | SLIVNICA | L 9034 | Občina | 4,29 | DOBRO (4) | 1974 | GRADIS |
| 0035 | Slivnica - Fram | VA0056 | SLIVNICA | L 9013 | Občina | 9,02 | DOBRO (4) | 1974 | GRADIS |
| 0035 | Slivnica - Fram | VA0057 | FRAM | R3-711 | DRSC | 6,61 | DOBRO (4) | 1976 | GRADIS |
| 0036 | Fram - Sl. Bistrica | VA0058 | FRAM | PRIKLJ. FRAM | DARS | 9,03 | DOBRO (4) | 1975 | GRADIS |
| 0036 | Fram - Sl. Bistrica | VA0061 | POŽEG | LC 340040 | Občina | 9,92 | DOBRO (4) | 1975 | GRADIS |
| 0036 | Fram - Sl. Bistrica | VA0062 | POKOŠE | LC 440610 | Občina | 6,78 | DOBRO (4) | 1976 | GRADIS |
| 0036 | Fram - Sl. Bistrica | VA0066 | JOŽEFOV HRIB | LC 440570 | Občina | 5,45 | DOBRO (4) | 1976 | GRADIS |
| 0036 | Fram - Sl. Bistrica | VA0069 | SP.NOVA VAS | LC 440100 | Občina | 12,57 | DOBRO (4) | 1976 | GRADIS |
| 0037 | Sl. Bistrica - Sl. Konjice | VA0071 | SP.LOŽNICA | R1- 219 | DRSC | 11,61 | DOBRO (4) | 1976 | GRADIS |
| 0037 | Sl. Bistrica - Sl. Konjice | VA0074 | SP.LOŽNICA | LC 440350 | Občina | 12,57 | DOBRO (4) | 1976 | GRADIS |
| 0037 | Sl. Bistrica - Sl. Konjice | VA0075 | VRHOLE | LC 440310 | Občina | 9,51 | DOBRO (4) | 1976 | GRADIS |
| 0037 | Sl. Bistrica - Sl. Konjice | VA0077 | PRELOGE | LC 440330 | Občina | 13,74 | DOBRO (4) | 1976 | GRADIS |
| 0037 | Sl. Bistrica - Sl. Konjice | VA0079 | PRELOGE | LC 440340 | Občina | 4,77 | DOBRO (4) | 1976 | GRADIS |
| 0038 | Sl. Konjice - Dramlje | VA0082 | TEPANJE | PRIKLJ.SL.KONJICE | DARS | 11,89 | DOBRO (4) | 1976 | GRADIS |
| 0038 | Sl. Konjice - Dramlje | VA0083 | TEPANJE | R3- 686 | DRSC | 15,01 | DOBRO (4) | 1976 | GRADIS |
| 0038 | Sl. Konjice - Dramlje | VA0092 | SLATINA | JP 884030 | Javna pot | 6,29 | DOBRO (4) | 1976 | GRADIS |
| 0038 | Sl. Konjice - Dramlje | VA0098 | DRAMLJE | R3- 686 | DRSC | 10,17 | DOBRO (4) | 1976 | GRADIS |
| 0039 | Dramlje - Celje | VA0099 | DRAMLJE | PRIKLJ.DRAMLJE | DARS | 9,87 | DOBRO (4) | 1976 | GRADIS |
| 0039 | Dramlje - Celje | VA0101 | ŠOHTA | LC 396020 | Lokalna skupnost | 5,27 | ZELO DOBRO (5) | 1976 | GRADIS |
| 0039 | Dramlje - Celje | VA0102 | ŠOHTA | JP 896050 | Javna pot | 6,96 | DOBRO (4) | 1976 | GRADIS |
| 0039 | Dramlje - Celje | VA0106 | LJUBEČNA | LC 534640 | Občina | 7,37 | DOBRO (4) | 1976 | GRADIS |
| 0039 | Dramlje - Celje | VA0109 | LESKOVEC | LC 534370 | Občina | 9,11 | DOBRO (4) | 1976 | GRADIS |
| 0039 | Dramlje - Celje | VA0110 | TRNOVLJE | LC 034110 | Občina | 9,83 | DOBRO (4) | 1976 | GRADIS |
| 0040 | Celje - Arja Vas | VA0112 | HUDINJA | PRIKLJ. CELJE | DARS | 11,84 | DOBRO (4) | 1976 | GRADIS |
| 0040 | Celje - Arja Vas | VA0113 | HUDINJA | R2- 430 | DRSC | 14,89 | ZADOVOLJIVO (3) | 1976 | GRADIS |
| 0040 | Celje - Arja Vas | VA0116 | DOBRAVA | LC 038070 | Občina | 18,05 | ZADOVOLJIVO (3) | 1976 | GRADIS |
| 0040 | Celje - Arja Vas | VA0119 | LOPATA | LC 032080 | Občina | 10,07 | DOBRO (4) | 1976 | GRADIS |

Povedali smo, da običajno na vrstni red intervencijskih projektov, ki jih planiramo za cestne objekte, najbolj vpliva kriterij stanja objektov. V primeru obravnavanih nadvozov se je izkazalo, da je stanje objektov dovolj dober kriterij za planiranje celovitih obnov objektov, neustrezen pa pri planiranju manjših popravil, ki pa so prav tako pomembna. Tako naprimer korodirana ograja na nadvozih, ki izgublja stabilnost, bistveno ne vpliva na povečanje ratinga (indeksa poškodovanosti) nadvozov, zato se lahko zgodi, da se ograja poruši, še preden pride objekt na vrsto za večjo obnovo. Prav tako razpokanost cestišča na nadvozih neposredno zelo malo vpliva na rating celotnega objekta, vendar lahko daljše zamakanje skozi razpoke povzroči precej škode. Torej vidimo, da moramo poleg ocen stanja objektov pri izdelavi vrstnega reda intervencijskih projektov nujno upoštevati tudi druge vplive.

4.6 Poškodbe nadvozov

Dobro poznavanje poškodb je temeljnega pomena za nadaljnje ocenjevanje stanja, nosilnosti, preostale življenjske dobe, funkcionalnosti ter načrtovanja intervencijskih projektov objektov. Posredno pa predstavlja natančna analiza poškodb tudi povratno informacijo za projektante in izvajalce. V povezavi z upravljanjem cestne infrastrukture ima velik pomen tudi lastnost objektov, ki se upira nastanku poškodb in jo imenujemo trajnost objektov. Vsi obravnavani nadvozi v diplomski nalogi so v celoti železobetonski, zato si pogledjmo glavne vplive na trajnost betonskih cestnih objektov (preglednica 6).

Preglednica 6: Vplivi na trajnost betonskih cestnih objektov (Uranjek, 2006)

| VPLIV | POD VPLIV |
|--------------------------------|---|
| LASTNOSTI KONSTRUKCIJE | <ul style="list-style-type: none"> ▪ zasnova konstrukcije ▪ konstrukcijski detajli ▪ izbira materiala ▪ tehnologija gradnje ▪ oprema in odvodnavanje ▪ zaščita konstrukcije ▪ izbira vzdrževanja |
| KAKOVOST VGRAJENIH MATERIALOV | <ul style="list-style-type: none"> ▪ projekt betona ▪ kakovost in vrsta agregata ▪ uporaba dodatkov ▪ nega betona ▪ debelina zaščitnega sloja betona |
| VZDRŽEVANJE, POPRAVILO, OBNOVA | <ul style="list-style-type: none"> ▪ redni pregledi ▪ redno vzdrževanje ▪ redna obnova |
| PROMET | <ul style="list-style-type: none"> ▪ omejitve osnih pritiskov ▪ razmerje med lastno in prometno obtežbo ▪ izredne obtežbe ▪ velike hitrosti ▪ mehanske poškodbe ▪ utrujanje |
| OKOLJE | <ul style="list-style-type: none"> ▪ atmosferski vplivi ▪ agresivnost kemičnih snovi in soljenje ▪ temperaturni vplivi – raztezanje/ krčenje ▪ zmrzovanje |

Zaradi podobnosti nadvozov po konstrukcijski zasnovi in materialu so podobne tudi njihove poškodbe, ki se na njih pojavljajo (preglednica 7). Najbolj značilne poškodbe nadvozov so po konstrukcijskih sklopih nadvozov z manjšimi komentarji prikazane tudi na sledečih slikah (slika 5 – slika 29).

Preglednica 7: Pregled tipičnih poškodb pregledanih nadvozov

| KONSTRUKCIJSKI SKLOP | TIPIČNE POŠKODBE |
|------------------------|---|
| SPODNJA KONSTRUKCIJA | stopničast prehod na most; poškodbe zaradi posedkov; manjkajoča obloga/erozija brežin nasipnega stožca; zamakanje na površini stebrov; poškodbe površine betona zaradi zmrzovanja/kem. vplivov; odlom zaradi udarca; |
| PREKLADNA KONSTRUKCIJA | zamakanje ob izlivniku/na površini/ob cevkah za pronicajočo vodo/ob dilataciji; poškodbe površine betona zaradi zmrzovanja/kem. vplivov; tehnološke razpoke, razpoke zaradi preobremenitev/vzdolž glavne armature; korozija armature; izločanje soli; |
| CESTIŠČE | poškodbe površine betona zaradi zmrzovanja/kem. vplivov na robnikih/robnem vencu; zamakanje na površini/skozi stik; korozija armature na robnikih/robnemu vencu; kolesnice/udarne jame/neravnost cestišča; rege/dilatacije zapolnjene z blatom; pesek/rastline na vozišču; razpoke asfalta/robnega venca/hodnika; izločanje soli na robnem vencu; |
| OPREMA OBJEKTA | korozija/poškodbe ograje; zamašen/poškodovan izlivnik. |

4.6.1 Spodnja konstrukcija



Slika 5: Stopničast prehod na most zaradi posedkov pod krajnim opornikom (poškodba je sicer vidna na cestišču, vendar zaradi vzroka nastanka spada k poškodbam spodnje konstrukcije)



Slika 6: Posedki pod krajnim opornikom in poškodovana brežina nasipnega stožca



Slika 7: Posedki pod krajnim opornikom in poškodovana obloga nasipnega stožca



Slika 8: Poškodovan nasipni stožec – erozija



Slika 9: Korozija armature na krilu nadvoza



Slika 10: Krušenje nosilnega stebra

4.6.2 Prekladna konstrukcija



Slika 11: Razpadanje glavnega nosilca



Slika 12: Korozija na površini nosilne plošče nadvoza



Slika 13: Kristalizirana sol na površini nosilne plošče nadvoza (bele lise)

4.6.3 Cestišče



Slika 14: Razpoka robnega venca zaradi utesnjenosti elementov



Slika 15: Razpadanje robnega venca zaradi zunanjih vplivov



Slika 16: Razpoka na hodniku nadvoza zaradi posedkov krajnega opornika



Slika 17: Zamašen vtočni del izlivnika



Slika 18: Rastje na cestišču zaradi kopičenja prsti



Slika 19: Propadanje betonskega robnika



Slika 20: Odstop robnika od hodnika



Slika 21: Razpoke asfaltnega vozišča na nadvozu



Slika 22: Poškodovan kovinski profil dilatacije



Slika 23: Razpoka v vozišču na mestu dilatacije.



Slika 24: Pesek na cestišču



Slika 25: Pretanek krovni sloj betona robnega venca, ki vodi k pojavu korozije armature



Slika 26: Razpadanje robnega venca

4.6.4 Oprema objekta



Slika 27: Korodirana ograja ob vpetju



Slika 28: Korozija ograje za pešce na nadvozu



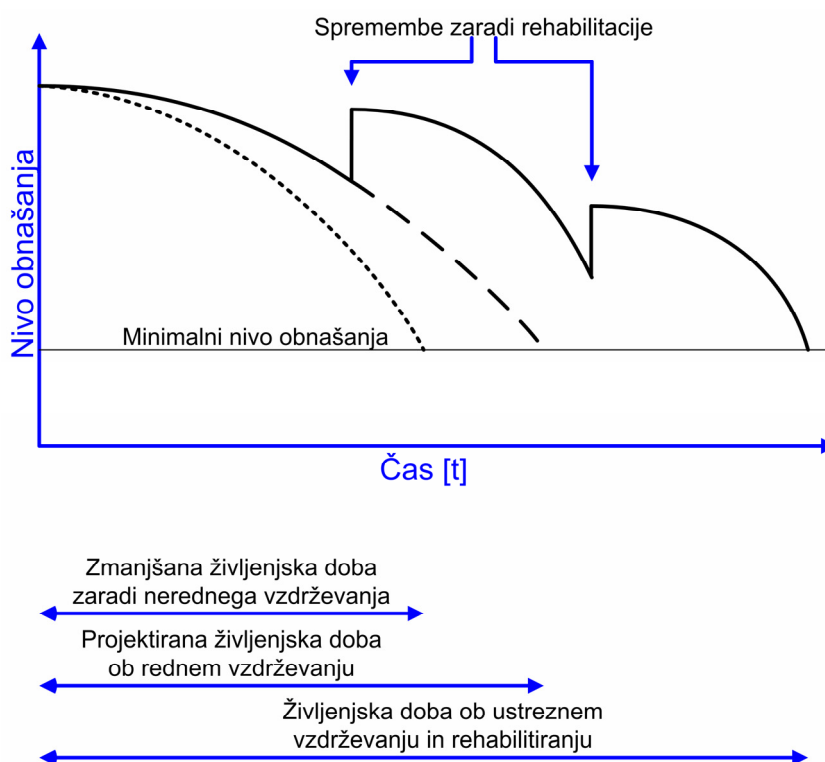
Slika 29: Zamaknjena kanaleta za odtok vode – zaradi posedkov

4.7 Modeliranje propadanja objektov

Kakor hitro na novo zgrajeni objekti cestne infrastrukture začnejo služiti svojemu namenu, so izpostavljeni kompleksnemu procesu propadanja, zaradi katerega se njihovo fizično in funkcionalno stanje nenehno slabša, število in jakost poškodb pa povečuje. Četudi proces propadanja s pomočjo regularnega programa vzdrževanja zmanjšamo na sam minimum, se mu v celoti ne moremo izogniti. Kompleksen proces propadanja objektov je odvisen od intenzitete obrabe, celotnega časa eksploatacije, propadanja opreme in materialov zaradi vplivov okolja, načina vzdrževanja ter kombinacije navedenih mehanizmov.

Modeliranje obnašanja objektov skozi čas je pomemben del upravljanja cestne infrastrukture, saj je optimalno določanje vrstnega reda objektov, na katerih se bodo izvedla obnovitvena ali vzdrževalna dela, v tesni povezavi s prognoziranjem njihovega obnašanja v prihodnosti. Le na takšen način bomo lahko sredstva za vzdrževanje in obnovo optimalno razporedili za daljše časovno obdobje. Namen modelov propadanja (*»deterioration model«*) ni zgolj napovedovanje preostale življenjske dobe v vsakem trenutku, temveč predvsem analiza razmerja med funkcionalnostjo in življenjsko dobo objekta. V Sloveniji zaenkrat podobnih modelov propadanja še ne uporabljamo, ker se potrebe še niso razvile do te stopnje.

Nivo obnašanja objektov se zaradi procesa propadanja s časom zmanjšuje, kar grafično ponazarjamo s krivuljami propadanja (slika 30). Na sliki 30 imamo tri različne krivulje propadanja, ki se razlikujejo od načina vzdrževanja in obnove. Prva krivulja propadanja prikazuje neredno vzdrževanje, zato imamo posledično zmanjšano življenjsko dobo. Druga krivulja propadanja prikazuje redno vzdrževanje, zato dosežemo projektirano življenjsko dobo. Tretja krivulja propadanja pa je kombinacija rednega vzdrževanja in dveh rehabilitacij, kar nam podaljša življenjsko dobo objekta tako, da je daljša od prvotno načrtovane.



Slika 30: Dejanska krivulja propadanja pomanjkljivo vzdrževanega, redno vzdrževanega in rehabilitiranega objekta (Uranjek, 2006)

Ko objekt enkrat doseže minimalni nivo obnašanja, je za njegovo nadaljnjo uporabo potrebna ustrezna rehabilitacija. V nasprotnem primeru postane uporaba objektov tvegana do te stopnje, da sledi prepoved njihove nadaljnje uporabe. Načrtovana življenjska doba konstrukcije je običajno dosežena, le če je konstrukcija tudi ustrezno vzdrževana, sicer doseže minimalni nivo obnašanja predčasno, kar je tudi razvidno iz slike 30. Če uporabimo metodologijo ocenjevanja premostitvenih objektov, ki je predstavljena v razdelku 4.4.3, lahko smatramo, da konstrukcija doseže svoj minimalni nivo obnašanja, kakor hitro je njena kodirana ocena stanja enaka KRITIČNO (1).

Zaradi širšega pregleda nad samim obnašanjem cestnih objektov skozi čas, si pogledjmo nekatere njihove pričakovane življenjske dobe. Pričakovana oziroma projektirana življenjska doba cestnih objektov je odvisna predvsem od vrste objektov in kategorije cest (Uranjek, 2006) in znaša:

- 80 let → objekti na lokalnih in regionalnih cestah;
- 100 let → objekti na magistralnih cestah in avtocestah;
- 120 let → večji objekti, objekti na pomembnih strateških odsekih.

Od pričakovane življenjske dobe objektov običajno precej odstopajo pričakovane življenjske dobe posameznih elementov, kar zopet potrjuje pravilo, da je za dosego pričakovane oziroma projektirane življenjske dobe objektov potrebno ustrezno vzdrževanje in menjava le-teh, še posebej tistih, ki odpovejo v precej krajšem času kot je pričakovana življenjska doba objektov. Spodaj so navedeni primeri za pričakovano življenjsko dobo nekaterih elementov objektov (Uranjek, 2006):

- 20-25 let → oprema mostu: ležišča, dilatacije, odvodnjavanje, ograje, hidroizolacija, vozišče;
- 30-50 let → voziščna plošča mostu;
- 80-120 let → nosilna konstrukcija mostu;
- 130-150 let → podporna konstrukcija mostu.

4.7.1 Markovski verižni model propadanja objektov

S pomočjo markovskih verig (Jamnik, 1987) lahko zelo učinkovito prognoziramo obnašanja vseh vrst infrastrukture. Markovska veriga je poseben primer markovskega procesa, za katerega je značilno, da je napovedovanje bodočega stanja odvisno le od trenutnega stanja in torej ni odvisno od načina, kako je do sedanjega stanja prišlo (Morcoux in Lounis, 2006). Lastnosti markovskih verig izhajajo iz načel verjetnostnega napovedovanja fizičnega in funkcionalnega stanja infrastrukture s pomočjo poljubnega števila prehodnih odsekov, ki predstavljajo osnovni element modela propadanja. Gre za poljubno izbrano časovno obdobje, v katerem objekt preide iz enega diskretnega stanja v drugo (nekoliko slabše) diskretno stanje. Celotno časovno obdobje, znotraj katerega želimo modelirati obnašanje konstrukcije, pa je večkratnik posameznih prehodnih odsekov.

Obnašanje objektov vedno modeliramo s pomočjo večjega števila posameznih časovnih odsekov (t.j. prehodnih period). Princip napovedovanja prihodnjega stanja določenega objekta temelji na verjetnosti, da se stanje, ki ga trenutno objekt zavzema, ne bo spremenilo. Na vsakem časovnem odseku definiramo prehod iz enega diskretnega stanja v drugega, prehod v daljšem obdobju pa je akumulacija verjetnosti posameznih prehodnih period. S pomočjo markovskih verig lahko napovemo stanje objektov v prihodnosti, če poznamo njihovo sedanje

ali preteklo stanje (izhodiščno oz. referenčno stanje) ter verjetnostne zakonitosti prehajanja iz enega stanja v drugega.

Markovske verige imajo zaradi probabilistične zasnove številne prednosti:

- je izredno prilagodljiva tehnika modeliranja stanja objektov, ki lahko zajame raznovrstne začetne negotovosti (negotovost ocene začetnega stanja, negotovost natančnega poteka propadanja, negotovost upoštevanja drugih ključnih parametrov itd.);
- pri prognoziranju stanja objektov potrebujemo eno samo stanje, ki ga poznamo (referenčno stanje);
- zaradi učinkovite, ekonomične računske zasnove in enostavne uporabe je tehnika uporabna tudi pri prognoziranju obnašanja večjega števila objektov za daljše časovno obdobje.

Predpogoj za modeliranje obnašanja nekega objekta je znano izhodiščno stanje glede na diskretno mersko lestvico. Takšna merska lestvica je naprimer lestvica kodiranih ocen stanja, ki je podana v razdelku 4.4.3. Razlog za vpeljavo diskretnih merskih lestvic v to metodo je neodvisno modeliranje posameznih prehodov iz enega diskretnega v drugega. Tako naprimer prehaja objekt iz stanja ODLIČNO (5) v stanje DOBRO (4) na drugačen način kot iz stanja SLABO (2) v stanje KRITIČNO (1). Le na ta način lahko zajamemo značilnosti propadanja, ki veljajo za večino objektov. Praviloma je namreč hitrost propadanja objektov v kasnejših fazah precej večja kot na začetku. V modelu propadanja navedenih dejstev ne moremo upoštevati z enim samim, temveč z več parametri, ki jih zapišemo v kvadratno prehodno matriko dimenzije S ($n = S$) (3). Dimenzija matrike S se ujema s številom stanj v diskretni lestvici ocenjevanja, ki jo uporabljamo pri modeliranju obnašanja. Prehodna matrika (3) tako vsebuje člene, ki na osnovi verjetnosti opisujejo prehode iz posameznih diskretnih stanj v nižja diskretna stanja v času ene prehodne periode.

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} p^{S,S} & p^{S,S-1} & \cdots & p^{S,1} \\ p^{S-1,S} & p^{S-1,S-1} & \cdots & p^{S-1,1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ p^{1,S} & p^{1,S-1} & \cdots & p^{1,1} \end{bmatrix} \quad (3)$$

p^{ij} → verjetnost prehoda iz stanja i v stanje j v času ene prehodne periode

Zgornja matrika predstavlja najbolj splošno obliko prehodne matrike, ki se običajno precej poenostavi. Tako je naprimer v primeru, ko za objekte nimamo predvidene nobene rehabilitacije, vrednost členov matrike, ki izkazujejo verjetnost izboljšanja stanja, enaka nič (npr. $p^{ij} = 0$, za $j > i$). Ob navedeni predpostavki postane oblika prehodne matrike zgoraj trikotna. Če poleg tega še dodatno predpostavimo, da se v eni sami prehodni periodi lahko stanje objekta poslabša kvečjemu za eno stopnjo, pa dobimo obliko prehodne matrike:

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} p(A) & q(A) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p(B) & q(B) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p(C) & q(C) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p(D) & q(D) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} p(A) & 1-p(A) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p(B) & 1-p(B) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p(C) & 1-p(C) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p(D) & 1-p(D) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Če se omejimo na pet stopenjsko lestvico kodiranih ocen stanja iz razdelka 4.4.3, je red matrike 5 ($n = 5$). Členi na glavni diagonali prehodne matrike ($p(A)$, $p(B)$, $p(C)$, $p(D)$, $p(E)$) izražajo verjetnost, da se posamezno stanje ne bo spremenilo, ostali členi pa izražajo ravno obratno verjetnost, torej da se bo posamezno stanje spremenilo za natanko eno stopnjo. V matriki (4) opazimo, da je člen $p(E)$ enak 1. Ko enkrat objekt doseže najslabše stanje (KRITIČNO (1)) in zanj ni predvidena rehabilitacija, je verjetnost, da v takšnem stanju tudi ostane, enaka ena, ker gre za verjetnost gotovega dogodka.

Stanje posameznega objekta glede na diskretno ocenjevalno lestvico zapišemo z vektorjem stanja \mathbf{S}_t (5). Indeks t označuje začetno število prehodnih period, zato pogosto vektor stanja \mathbf{S}_t smatramo za referenčni vektor stanja:

$$\mathbf{S}_t = \{s_t^s, s_t^{s-1} \dots s_t^1\} \quad (5)$$

Vektor stanja \mathbf{S}_{t+1} po preteku ene same prehodne periode glede na referenčno stanje \mathbf{S}_t s pomočjo prehodne matrike \mathbf{P} zapišemo kot produkt:

$$\mathbf{S}_{t+1} = \mathbf{S}_t \times \mathbf{P} \quad (6)$$

Če želimo prognozirati obnašanje določenega objekta, moramo torej poznati prehodno matriko, ki jo lahko določimo na podlagi empiričnih podatkov. Prehodno matriko navadno skalibriramo s pomočjo iterativnega postopka. Člene matrike moramo namreč določiti tako, da generirana markovska veriga dovolj dobro opiše poznano obnašanje objektov. V primeru

pomanjkanja empiričnih podatkov pa člene prehodne matrike določimo s pomočjo izkušenih strokovnjakov. Izvrednotenje prehodnih matrik za skupino nadvozov, ki jo obravnavamo v diplomski nalogi, je obsežna in zahteva naloga in presega okvire tega dela.

4.7.1.1 Primer: Določitev krivulje propadanja s pomočjo prehodnih verjetnostnih matrik

Za prikaz uporabnosti in boljše razumevanje te metode si bomo ogledali tri različice krivulje propadanja, ki so določene na podlagi treh izbranih prehodnih matrik. Prva prehodna matrika predstavlja izhodiščno varianto (A), ostali dve pa sta njeni izpeljanki (B, C), s katerima lahko ugotavljamo občutljivost rešitve na spremembe členov matrike. Prehodne matrike tudi v tem primeru ustrezajo petstopenjski lestvici ocenjevanja, ki smo jo opredelili v razdelku 4.4.3. Izbrane vrednosti členov prehodnih matrik so začetni približek znotraj pričakovanih vrednosti.

Namen te kratke študije izbranih variant prehodnih matrik je ugotoviti, kako posamezni členi matrik vplivajo na razvoj krivulje propadanja s časom. Varianta matrike B ima v primerjavi z izhodiščno (A) za tri odstotke večja členu p(A) in p(B). To sta tista členu, ki določata potek propadanja objektov v zgodnejših obdobjih, ko je zmanjševanje nivoja obnašanja relativno majhno (od stanja ODLIČNO (5) do stanja ZADOVOLJIVO (3)). Varianta matrike C pa ima v primerjavi z izhodiščno (A) za trideset odstotkov večja členu p(C) in p(D), torej členu, ki določata potek propadanja objektov v kasnejših obdobjih, ko propadanje pospešeno napreduje (od stanja ZADOVOLJIVO (3) do stanja KRITIČNO (1)).

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 0,95 & 0,05 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,93 & 0,07 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,7 & 0,3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,6 & 0,4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$\mathbf{B} = \begin{bmatrix} 0,98 & 0,02 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,96 & 0,04 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,7 & 0,3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,6 & 0,4 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (8)$$

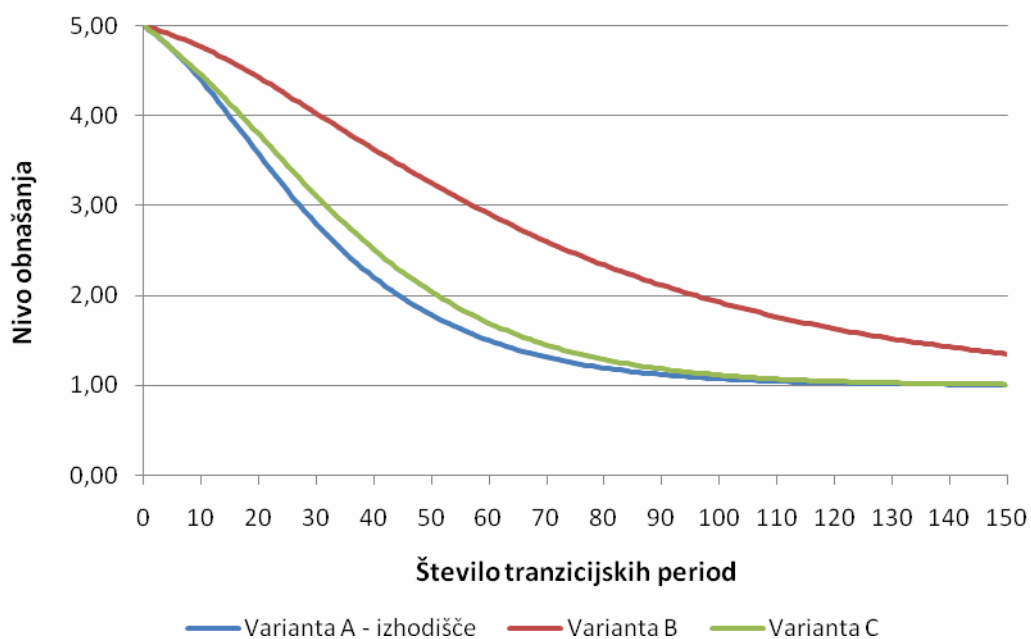
$$\mathbf{C} = \begin{bmatrix} 0,95 & 0,05 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0,93 & 0,07 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0,91 & 0,09 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0,78 & 0,22 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Krivulje propadanja za posamezne variante prehodnih matrik so prikazane na sliki 31. Vse tri krivulje propadanja prikazujejo prehajanje od najvišjega nivoja obnašanja (stanje ODLIČNO (5)) preko sto petdesetih prehodnih period. Število prehodnih period, za katere imamo zrisane krivulje propadanja (slika 31), je odvisno od tega, za kakšno časovno obdobje želimo modelirati propadanje objekta in kolikšna je dolžina ene prehodne periode. Če naprimer če želimo modelirati obnašanje objekta za 50 let s krivuljami propadanja, ki jih prikazuje slika 31, in je dolžina prehodne periode 1 leto, moramo v modelu propadanja zajeti 50 prehodnih period in velja naslednja zveza:

$$n = a/b \quad (10)$$

| | | |
|---|---|------------------------------|
| n | → | število prehodnih period |
| a | → | dolžina modeliranega obdobja |
| b | → | dolžina 1 prehodne periode |

Kot lahko razberemo iz slike 31, tri odstotno povečanje členov p(A) in p(B) (varianta A) bistveno bolj upočasni proces propadanja, kot trideset odstotno povečanje členov p(C) in p(D). Lastnost obnašanja objektov, ki jo izkazujejo krivulje propadanja pridobljene na osnovi prehodnih matrik, se dobro ujema tudi s spreminjanjem nivoja obnašanja dejanskih objektov, kar na simbolični ravni prikazuje slika 30.



Slika 31: Krivulje propadanja za posamezne variante prehodnih matrik

5. Predstavitev prototipne zbirke podatkov

Smernice sodobnega časa nam narekujejo hranjenje podatkov v podatkovnih bazah. Tudi področje upravljanja cestne infrastrukture je tesno vezano na zbiranje, hranjenje ter iskanje vedno večjih količin podatkov. Povečano povpraševanje po podatkih pa nastopi še zlasti takrat, ko smo postavljeni pred nove odločitve. Pod pojmom baza podatkov si običajno predstavljamo neko strukturirano zbirko podatkov v računalniški obliki, do katere lahko pridemo s posebnim programom (Wikipedia, 2007). Tisti podatki oziroma njihova analiza, ki odgovarja na zastavljena vprašanja, predstavljajo informacije, na podlagi katerih nato sprejemamo odločitve. Zato je še kako pomembno, na kakšen način lahko do teh podatkov oziroma informacij dostopamo. Računalniški program, ki omogoča urejanje in iskanje podatkov, skupaj z bazo podatkov predstavlja podatkovni sistem, ki ga v angleščini imenujemo »*database management system*« (DBMS), v slovenščini pa običajno za to uporabljamo izraz informacijski sistem. Informacijski sistemi se navadno vzpostavijo po naročilu posameznih organizacij in so zato specifični za področja, ki so relevantna za organizacijo (npr. »*bridge management system*« – BMS za upravljavca premostitvenih objektov). Eno najpreprostejših orodij za te namene je tudi programska oprema MS Access, ki omogoča vzpostaviti preprost DBMS širšemu krogu uporabnikov.

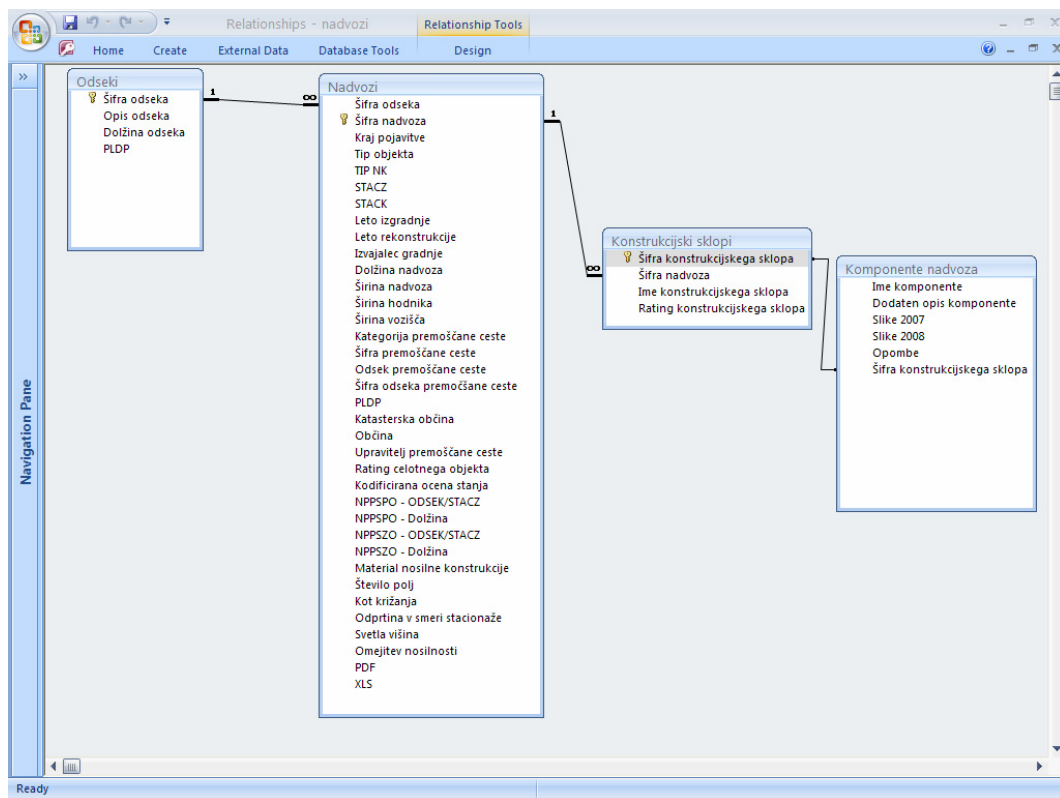
5.1.1 Izdelava baze podatkov za primer skupine nadvoзов nad avtocestnim odsekom

Naslednje orodje, ki ga potrebujemo pri upravljanju cestnih objektov, je torej baza podatkov, ki je ustrezno strukturirana. Zato sem s pomočjo programske opreme MS Access izdelal podatkovno bazo, v kateri so shranjeni vsi aktualni podatki v zvezi z obravnavanimi avtocestnimi nadvozi (slika 32 – slika 37).

Nadvozi so cestni objekti, ki so vezani na določen avtocestni odsek in so sestavljeni iz večjega števila komponent. Temu zaporedju sledi tudi baza podatkov. Na najvišjem nivoju hierarhije podatkov se nahaja opis posameznih avtocestnih odsekov. Atributi na tem nivoju so: šifra, odseka, opis odseka, dolžina odseka in povprečni letni dnevni promet (PLDP). Naslednji nivo predstavlja preglednica, ki se nanaša na opis posameznih nadvoзов kot celote.

Glavni atributi, ki so povezani z nadvozi in sem jih uporabil tudi v preostalem delu diplomske naloge, so: šifra nadvoza, kraj pojavitve, ime premoščane ceste, leto izgradnje, rating celotnega objekta (RCO), dimenzije objekta, prehodi preko sredine (najbližji prehod preko sredine pred/za objektom (NPPSP(ZO))), povprečni letni dnevni promet (PLDP) itd. Preglednica tretjega nivoja vsebuje podatke o konstrukcijskih sklopih: ime konstrukcijskega sklopa, rating konstrukcijskega sklopa itd. Delitev nadvozov na konstrukcijske sklope (spodnja konstrukcija, prekladna konstrukcija, cestišče objekta in oprema objekta) sem si izbral prav takšno, kot jo opisuje metodologija ocenjevanja v razdelku 4.4.3. Na najnižjem, torej četrtem nivoju hierarhije, pa se nahaja preglednica s podatki, ki se nanašajo na posamezne komponente nadvozov. Na tem nivoju omogoča baza tudi vstavljanje slik posameznih komponent. Povezave posameznih nivojev ter pripadajočih atributov prikazuje slika 32.

Sedanja praksa v cestni infrastrukturi kaže na to, da so podatki razpršeni v najrazličnejših oblikah, dostop do teh pa je pogosto omejen tudi zaradi fizičnih preprek (razdalje med posameznimi enotami itd.). Delo uslužbencev se običajno razlikuje od enote do enote, prav tako tudi zajemanje podatkov, zato se včasih lahko zgodi, da podatki med seboj niso primerljivi. Enoten, redno ažuriran informacijski sistem na tem področju bi omogočil precej večjo primerljivost in transparentnost podatkov in s tem lažje ter učinkovitejše delo.



Slika 32: MS Access: povezave v bazi podatkov

The screenshot shows the MS Access Form View for the 'Nadvozi' table. The form contains various input fields for data entry, organized into columns:

- Column 1:** Šifra odseka (DOB8), Šifra nadvoza (VA0098), Tip objekta (N), Kraj pojavitve (DRAMLIE), STACZ (10800), STACK (10808,5), Leto izgradnje (1976), Izvajalec gradnje (GRADIS), Leto rekonstrukcije (0), Kategorija premoščane ceste (R3), Šifra premoščane ceste (686), Odsek premoščane ceste (Žiče - Dramlja), Šifra odseka premoščane ceste (1279).
- Column 2:** PLDP (63), Občina (Šentjur), Katasterska občina (1131 - Marija Dobje), Upravitelj premoščane ceste (DRSC), Rating celotnega objekta (10,17), Kodificirana ocena stanja (DOBRO (4)), NPPSPO - ODSEK/STACZ (0038/10300), NPPSPO - Dolžina (143), NPPSZO - ODSEK/STACZ (0039/1650), NPPSZO - Dolžina (130), Material nosilne konstrukcije (p), Število polj (3), Kot križanja (90).
- Column 3:** Čista pravokotna odprtina (61,4), Odprtina v smeri stacionaže (61,4), Širina vozišča (7), Širina levega hodnika (0,75), Širina desnega hodnika (0,75), Svetla višina (4,7), Omejitev nosilnosti (60), TIP NK (OKVIR), PDF (image icon), XLS (image icon).

At the bottom, there is a table with columns 'Del objekta' and 'Rating 2004':

| Del objekta | Rating 2004 |
|------------------------|-------------|
| Spodnja konstrukcija | 1,07 |
| Prekladna konstrukcija | 1,88 |
| Cestišče | 5,90 |
| Oprema objekta | 1,32 |
| * | 0,00 |

The status bar at the bottom indicates 'Record: 17 of 27' and 'Form View'.

Slika 33: MS Access: uporabniški vmesnik z dostopom do posameznih atributov z možnostjo neposrednega dostopa do dokumentov (vrste PDF in XLS)

The screenshot shows the MS Access application window titled 'Nadvozi - nadvozi'. The form contains various input fields for project data, including identification numbers, location, and technical specifications. Below the form is a table with columns for 'Del objekta', 'Rating 2004', and a list of components under 'Ime komponente'. The 'Spodnja konstrukcija' component is selected, showing a rating of 1,07. The table lists various components like 'Brežina nasipnega stožca', 'Dostop na most', and 'Krajni opornik'.

| Del objekta | Rating 2004 | Ime komponente | Dodaten opis komponente | Slike 2007 | Slike 2008 | Opombe |
|------------------------|-------------|---------------------------------|-------------------------|------------|------------|--------|
| Spodnja konstrukcija | 1,07 | | | | | |
| | | Brežina nasipnega stožca | | | | |
| | | Dostop na most - bankina | | | | |
| | | Dostop na most - brežina nasipa | | | | |
| | | Dostop na most - vozišče | | | | |
| | | Krajni opornik | | | | |
| | | Krila | | | | |
| | | Obloga brežine nasipnega stožca | | | | |
| | | Odvodnavanje v okolici | | | | |
| | | Okolica objekta | | | | |
| | | Temelji | | | | |
| | | Vmesni opornik | | | | |
| | | Razno | | | | |
| | | * | | | | |
| Prekladna konstrukcija | 1,88 | | | | | |
| Cestišče | 5,90 | | | | | |

Slika 34: MS Access: uporabniški vmesnik - meni »Spodnja konstrukcija«

The screenshot shows the MS Access application window titled 'Nadvozi - nadvozi'. The form contains various input fields for project data. Below the form is a table with columns for 'Del objekta', 'Rating 2004', and a list of components under 'Ime komponente'. The 'Prekladna konstrukcija' component is selected, showing a rating of 1,88. The table lists various components like 'Glavni nosilec - pravokotni na AC', 'Voziščna plošča', and 'Plošča hodnika'.

| Del objekta | Rating 2004 | Ime komponente | Dodaten opis komponente | Slike 2007 | Slike 2008 | Opombe |
|------------------------|-------------|-----------------------------------|-------------------------|------------|------------|--------|
| Spodnja konstrukcija | 1,07 | | | | | |
| Prekladna konstrukcija | 1,88 | | | | | |
| | | Glavni nosilec - pravokotni na AC | | | | |
| | | Voziščna plošča | | | | |
| | | Plošča hodnika | | | | |
| | | Glavna nosilna plošča | | | | |
| | | Prečnik nad krajno podporo | | | | |
| | | Ležišče | | | | |
| | | Razno | | | | |
| | | * | | | | |
| Cestišče | 5,90 | | | | | |
| Oprema objekta | 1,32 | | | | | |
| * | 0,00 | | | | | |

Slika 35: MS Access: uporabniški vmesnik - meni »Prekladna konstrukcija«

Form View

| Del objekta | Rating 2004 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------|----------------|-------------------------|------------|------------|--------|-----------------------|--|--|--|--|-----------------------|--|--|--|--|--------|--|--|--|--|-------------|--|--|--|--|---------|--|--|--|--|---------|--|--|--|--|-------------------------------|--|--|--|--|-------|--|--|--|--|---|--|--|--|--|
| Spodnja konstrukcija | 1,07 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Prekladna konstrukcija | 1,88 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cestišče | 5,90 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ime komponente</th> <th>Dodaten opis komponente</th> <th>Slike 2007</th> <th>Slike 2008</th> <th>Opombe</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Dilatacija na hodniku</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Dilatacija na vozišču</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Hodnik</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Robni venec</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Robniki</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vozišče</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Vzdolžna rega - hodnik/robnik</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Razno</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>*</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | Ime komponente | Dodaten opis komponente | Slike 2007 | Slike 2008 | Opombe | Dilatacija na hodniku | | | | | Dilatacija na vozišču | | | | | Hodnik | | | | | Robni venec | | | | | Robniki | | | | | Vozišče | | | | | Vzdolžna rega - hodnik/robnik | | | | | Razno | | | | | * | | | | |
| Ime komponente | Dodaten opis komponente | Slike 2007 | Slike 2008 | Opombe | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Dilatacija na hodniku | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Dilatacija na vozišču | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Hodnik | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Robni venec | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Robniki | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vozišče | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Vzdolžna rega - hodnik/robnik | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Razno | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| * | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Oprema objekta | 1,32 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| * | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Slika 36: MS Access: uporabniški vmesnik - meni »Cestišče«

Form View

| Del objekta | Rating 2004 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|--|-------------------------|----------------|-------------------------|------------|------------|--------|---------------------|--|--|--|--|----------------------|--|--|--|--|-------------------------|--|--|--|--|------------------------|--|--|--|--|------------|--|--|--|--|-------------------------|--|--|--|--|-------------------|--|--|--|--|-------|--|--|--|--|---|--|--|--|--|
| Spodnja konstrukcija | 1,07 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Prekladna konstrukcija | 1,88 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Cestišče | 5,90 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Oprema objekta | 1,32 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| <table border="1"> <thead> <tr> <th>Ime komponente</th> <th>Dodaten opis komponente</th> <th>Slike 2007</th> <th>Slike 2008</th> <th>Opombe</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Instalacijski jašek</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Izlivniki - cevovodi</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Izlivniki - iztočni del</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Izlivniki - vtočni del</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Kandelabri</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Kovinska odbojna ograja</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Ograja na hodniku</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>Razno</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>*</td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table> | | Ime komponente | Dodaten opis komponente | Slike 2007 | Slike 2008 | Opombe | Instalacijski jašek | | | | | Izlivniki - cevovodi | | | | | Izlivniki - iztočni del | | | | | Izlivniki - vtočni del | | | | | Kandelabri | | | | | Kovinska odbojna ograja | | | | | Ograja na hodniku | | | | | Razno | | | | | * | | | | |
| Ime komponente | Dodaten opis komponente | Slike 2007 | Slike 2008 | Opombe | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Instalacijski jašek | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Izlivniki - cevovodi | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Izlivniki - iztočni del | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Izlivniki - vtočni del | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Kandelabri | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Kovinska odbojna ograja | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Ograja na hodniku | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| Razno | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| * | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| * | 0,00 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Slika 37: MS Access: uporabniški vmesnik - meni »Oprema objekta«

6. Določanje vrstnega reda vzdrževalnih in obnovitvenih del na nadvozih

Naslednji korak učinkovitega upravljanja cestne infrastrukture je določanje vrstnega reda objektov, ki jih bomo obnovili v izbranem časovnem obdobju. Ker upravljavec praviloma skrbi za veliko število objektov, kar pomeni, da je možnih alternativ veliko, je odločanje o prioritetah težavno. Pri tem nam je lahko v pomoč teorija odločanja in računalniško podprti sistemi, ki na tej teoriji temeljijo.

6.1 Uvod v odločanje

Eden od pomenov besede odločati je pri izbiri dajati čemu prednost. Ker v procesu odločanja že vnaprej vemo, da se bomo morali vsaj eni stvari odpovedati, je v psihološkem smislu odločanje frustrirajoče. Frustracija je povezana zgolj z intuitivnimi odločitvami posameznikov, ko se o njeni pravilnosti ne moremo prepričati racionalno. Takšne odločitve so osebne odločitve. Poleg posameznikov pa se s pomembnimi odločitvami srečujejo tudi najrazličnejše organizacije, ki so lahko postavljene pred zahtevne strokovne in poslovne odločitve. V teh primerih sprejemanje odločitev običajno ni prepuščeno zgolj intuicijam posameznikov, zato takšne odločitve imenujemo tudi skupinske odločitve. Pri skupinskem odločanju gre namreč za proces, v katerem je potrebno izmed več variant (alternativ, inčič, možnosti) izbrati tisto, ki najbolj ustreza postavljenim ciljem oziroma zahtevam (Jereb in soavtorji, 2003). Poleg izbora te variante včasih želimo variante tudi razvrstiti od najboljše do najslabše (Jereb in soavtorji, 2003), kar je tudi eden od namenov te diplomske naloge. Pri tem so variante lahko objekti, dejavnosti, scenariji, posledice itd. V diplomski nalogi so variante posamezni nadvozi nad izbranim avtocestnim odsekom, ki jih želimo obnoviti.

6.2 Metodologija odločanja

Za čim boljše doseganje ciljev in zahtev pri odločanju moramo proces odločanja kar najbolj racionalizirati. Racionaliziran proces odločanja za določeno organizacijo ni več frustrirajoč, saj je sprejeta odločitev v tem primeru eksaktna in jo lahko smatramo za optimalno. Torej gre pri racionaliziranem odločanju tudi za optimizacijo, saj izbrana rešitev najbolje ustreza končnemu cilju oziroma zahtevam. Glavni problemi, ki nastopajo pri težkih odločitvenih problemih, izvirajo iz:

- velikega števila specifičnih dejavnikov, ki vplivajo na odločitev,
- številnih, pogosto slabo definiranih ali poznanih variant,
- zahtevnega in pogosto nepopolnega poznavanja odločitvenega problema, ciljev in zahtev odločitve,
- obstoja večjega števila konfliktnih odločevalcev in
- omejenega časa in podatkov za izvedbo odločitvenega procesa (Jereb in soavtorji, 2003).

Pri vsem tem nastane ključno vprašanje, kako pomagati odločevalcu, da bi na sistematičen, organiziran in čim lažji način prišel do kvalitetne odločitve. V ta namen je bilo do sedaj razvitih že kar nekaj metod in računalniških programov za pomoč pri odločanju. V okviru diplomske naloge se bom omejil zgolj na metodo večparametrskega odločanja. Ta metoda je po eni strani dobro teoretično utemeljena v okviru teorije odločanja in teorije koristi, po drugi strani pa je primerna za uporabo na najrazličnejših področjih.

Če želimo k odločanju pristopiti na strokoven, racionalen in sistematičen način, moramo najprej celoten proces odločanja izraziti v matematični obliki. Torej za proces odločanja potrebujemo računski model. Posamezni računski modeli se razlikujejo po tem, kako natančni so. Ponavadi so natančnejši manj ekonomični in obratno. Vsem računskim modelom odločanja je skupno, da temelji odločitev na podlagi (praviloma več) sodil oz. kriterijev. Ker vsa upoštevana sodila niso enako pomembna, jih moramo ustrezno utežiti, s čemer dodelimo posameznim kriterijem željeno pomembnost. Uporabljene uteži lahko določimo intuitivno ali pa za to uporabimo naprimer metodo AHP (*analytical hierarchy process*), ki jo je razvil Saaty (1988). Natančnost odločitev je največkrat odvisna prav od natančnosti uteži posameznih sodil. Bolj komplicirane računske modele običajno rešujemo s pomočjo

računalnikov. V okviru številnih organizacij ali procesov je uveljavljen postopek, pri katerem bolj ali manj subjektivno ovrednotimo oz. točkujemo posamezne variante glede na vnaprej določena sodila. Vsota posameznih točk glede na posamezna sodila nam na koncu predstavlja korist, ki jo dosežemo pri odločanju. Izberemo oz. odločimo se za varianto, ki doseže največjo skupno korist. Drugačen, bolj sofisticiran, bolj natančen in sodoben način odločanja pa lahko poteka s pomočjo posebnega računalniško podprtega sistema za podporo odločanju (*»decision support system«*).

6.2.1 Sistemi za podporo odločanju

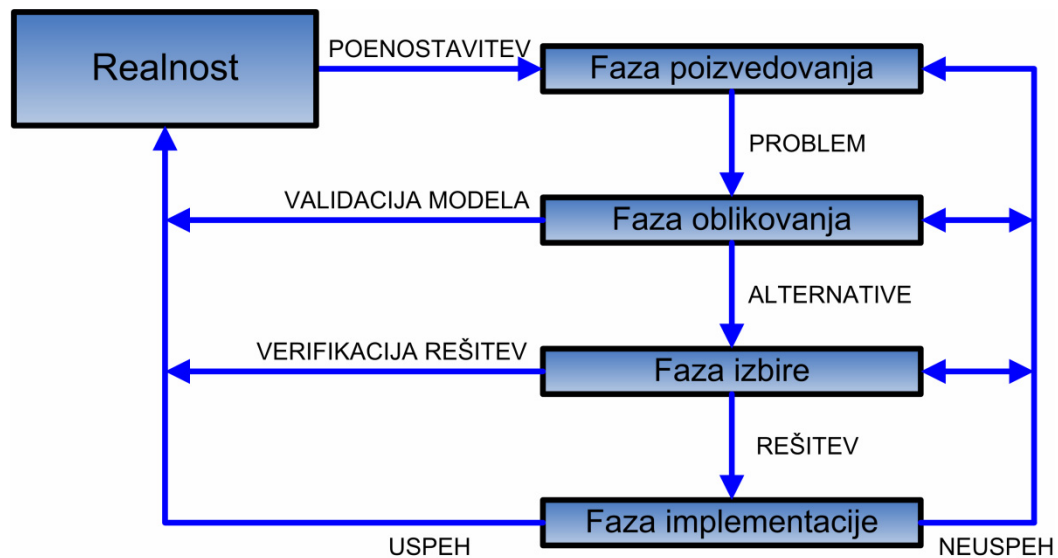
Univerzalne definicije sistema za podporo odločanju (*»decision support system«*) ni. V splošnem pod tem pojmom razumemo računalniško podprt sistem, ki kakorkoli pomaga pri sprejemu odločitve (Wikipedia). Pomoč pri odločanju si lahko razlagamo kot proces, ki ga odlikujejo štiri faze (slika 38) (Furlan, 2006).

Faza poizvedovanja (*»intelligence phase«*) zajema določitev zelenih ciljev, iskanje postopkov za rešitev problema, zbiranje podatkov in informacij, določitev nosilca problema, klasifikacijo in formalni zapis problema.

Faza načrtovanja (*»design phase«*) zajema formulacijo modela, zbiranje množice pomembnih kriterijev, predvidevanje rešitev in meritev rezultatov.

Faza izbire (*»choice phase«*) zajema izbiro končnega modela, analizo občutljivosti (*»sensitivity analysis«*), izbiro najboljše alternative ter planiranje izvedbe.

Faza implementacije (*»implementation phase«*).



Slika 38: Štiri faze pri procesu odločanja (Furlan, 2006)

Pojavlja se vprašanje, v katero od faz sodi odločanje. Mnenja avtorjev se glede odgovora na to vprašanje razhajajo. Medtem ko so nekateri mnenja, da je odločanje del tretje faze, drugi trdijo, da je odločanje del vseh prvih treh faz (Furlan, 2006).

Mnenja različnih avtorjev se razhajajo tudi pri uvrščanju glavnih komponent v sistem za podporo odločanju. Po mnenju nekaterih (Sprague in Carlson, 1982; Haag, 2000) naj bi sistemi za podporo odločanju vsebovali naslednje tri glavne komponente.

Komponenta za upravljanje s podatki (»data management component«). Ta komponenta shranjuje vse informacije, ki se nanašajo na proces odločanja. Te informacije so običajno razdeljene na tiste najbolj specifične, ki so vezane na določeno organizacijo, v primeru cestne infrastrukture so to informacije, s katerimi razpolagajo javne agencije; potem imamo bolj splošne zunanje informacije, katerih vir je naprimer internet; poleg tega imamo še informacije, ki zajemajo osebna opažanja in izkušnje posameznih uporabnikov.

Komponenta za upravljanje modelnih usmeritev (»model management component«). Komponenta, ki se ukvarja z ustrezno predstavitev najrazličnejših dogodkov, dejstev in situacij s pomočjo uporabe najrazličnejših vrst modelov (npr. statističnih, finančnih, optimizacijskih, simulacijskih itd.).

Komponenta za upravljanje preko uporabniškega vmesnika (»user interface management component«). Komponenta, ki uporabniku omogoča interakcijo z ostalima dvema komponentama.

Namen sistemov za podporo odločanju je predvsem izboljšati kakovost odločitev in ne avtomatizacija odločitev. Torej se njihova prednost odraža zlasti v primerih, ko v procesu odločanja nastopa večje število sodil. Pomemben del sistemov za podporo odločanju je tudi fleksibilen uporabniški vmesnik, ki uporabnikom omogoča, da posežejo v proces v primeru, ko gre za bolj specifične situacije. Pa vendar so lahko rezultati takšnih sistemov še vedno precej subjektivni in močno odvisni od uporabljenih vrednosti vhodnih podatkov. Znano je, da za vsa podobna računalniška orodja obstaja pravilo, da slabi vhodni podatki pogojujejo tudi slabe rezultate (*»rubbish in, rubbish out«*). Če so naprimer uteži sodil subjektivne, potem je takšna tudi končna odločitev. Lahko se torej zgodi, da pripelje sistem za podporo odločanju ob pomanjkljivih vhodnih podatkih odločevalca oz. upravljavca cestne infrastrukture do povsem napačnih zaključkov. Vprašanje, ki se ob tem poraja, je torej, če je v takšnih pogojih sistem za podporo odločanju sploh smiselen. Seveda je odgovor pritrđen. Pomembno pa je, da smo do dobljenih rezultatov dovolj kritični in jih znamo analizirati.

6.2.2 Večparametrsko odločanje

Večparametrsko odločanje temelji na razgradnji odločitvenega problema na manjše podprobleme - parametre. Posamezne variante razčlenimo na posamezne parametre (kriterij, podkriterij (atribut)), jih ločeno za vsak parameter ocenimo in nato s postopkom združevanja posameznih ocen parametrov določimo končno oceno variant, ki jo imenujemo korist. Varianta, ki dobi najvišjo oceno, je praviloma najboljša glede na uporabljene parametre oz. glede na njihovo kombinacijo (Jereb, in soavtorji, 2003).

V povezavi z večparametrskim odločitvenim modelom odločanja se ponavadi srečujemo z naslednjimi pojmi.

Variante so najsplošnejše vhodne spremenljivke odločitvenega modela, ki jih želimo razvrstiti oz. rangirati od najboljše do najslabše. V odločitvenem modelu imamo v splošnem n variant.

Korist Y je končni rezultat večparametrskega računkega modela. Vsaki obravnavani varianti določimo vrednost Y; tisto varianto, ki doseže najvišjo korist, pa smatramo za najbolj ustrezno.

Funkcija koristi je predpis: $Y = F(X_1 \dots X_m)$, s pomočjo katerega določimo posamezni varianti korist glede na izbrana sodila.

Utež parametra je številska vrednost med 0 in 1, ki izraža relativno pomembnost posameznega parametra.

Parametri (kriteriji, sodila, atributi (podkriteriji)) so kvalitativne spremenljivke, na podlagi katerih razdelimo odločitveni problem na manjše podprobleme. V odločitvenem modelu imamo v splošnem m parametrov.

Kazalniki i_j ($i = 1 \dots n$; $j = 1 \dots m$) predstavljajo kvantitativno vrednost posameznih parametrov. Vrednosti posameznih kazalnikov so normirane in zato medsebojno primerljive. Kazalnike ločimo glede na varianto i ($i = 1 \dots n$) ter parameter j ($j = 1 \dots m$).

Delna korist je korist na nivoju parametrov.

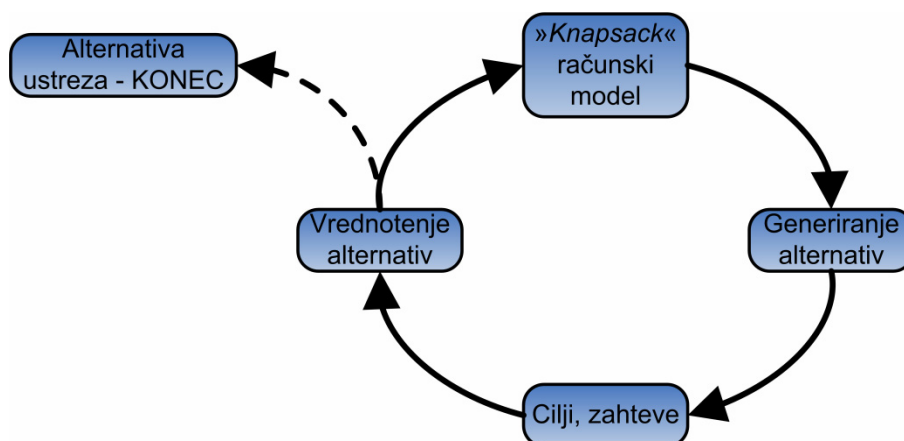
Delna funkcija koristi je predpis: $X_{ij} = X_{ij}(i, j)$; $i = 1 \dots n$, n število variant; $j = 1 \dots m$, m število parametrov (kriterijev).

Računski model odločanja na osnovi metode nahrbtnika (»knapsack model«)

Včasih bi radi namesto razvrščanja posameznih variant od najboljše do najslabše izbrali točno varianto, ki je sestavljena iz določene skupine dejavnosti, ki zadoščajo nekaterim zahtevam oz. omejitvam.

Reševanja takšnih problemov se lahko lotimo s pomočjo modela nahrbtnika (»knapsack model«) (Čižman, 2004; Alanne 2005). Model ponazarjamo s planincem, ki ima nahrbtnik z omejeno prostornino, v katerega želi spraviti zanj najpomembnejše stvari. Podobno kot je omejena velikost nahrbtnika, imamo tudi pri odločanju lahko prisotne določene zahteve, ki jih moramo upoštevati (finančne omejitve, združljivost variant itd.). Po nastavitvi računskega modela nahrbtnika je nadaljnji postopek iterativen. Potrebno je tvoriti alternative (kombinacije različnih dejavnosti) ter za vsako nastalo kombinacijo kontrolirati, če ustreza ciljem ter zahtevam. Pri tvorjenju alternativ si običajno pomagamo z računalniškim algoritmom, kot je na primer paket »Solver« v okviru programa MS Excel. Postopek ponavljamo, vse dokler ne najdemo ustrezne rešitve – kombinacije variant (slika 39). Izbrana rešitev v tem primeru ustreza principu Paretovega optimuma (*Pareto optimality*). Model

nahrbtnika bomo uporabili za izbor sanacij izmed obravnavanih 27 nadvozov v razdelku 6.3.2.



Slika 39: Ciklogram iterativnega postopka odločanja z metodo nahrbtnika

Vezi (*»constraints«*) so dodatni pogoji, ki pogosto nastopajo v povezavi z računskim modelom odločanja, ki temelji na modelu nahrbtnika. Opredeljujejo zahteve, ki nastopajo v procesu odločanja (finančne omejitve, združljivost variant itd.).

Določena rešitev je **Pareto optimum** (*»Pareto optimality«*), če v prostoru vseh možnih rešitev ne obstaja nobena rešitev, ki bi izboljšala oceno glede na določen kriterij, ne da bi tem pokvarila ocene glede vsaj enega od ostalih kriterijev. Tudi rešitev, ki jo dobimo na osnovi modela nahrbtnika, ustreza konceptu Paretovega optimuma. Ob optimalni rešitvi oz. kombinaciji izbranih variant lahko vedno poiščemo še neko dodatno rešitev, ob kateri bo sicer boljše zadoščeno določenemu kriteriju, vendar bo slabše zadoščeno vsaj enemu od ostalih kriterijev.

Večparametrski odločitveni model sestavlja več nivojev. Na dnu modela se nahajajo parametri, nivo višje je funkcija koristi in na vrhu korist (slika 40). Vhod v model odločanja predstavljajo kazalniki i_{ij} , ki pripadajo varianti i in kriteriju j . Njihove vrednosti so že normirane in tako medsebojno primerljive. Na nivoju parametrov je za i -to varianto odločanja definirana naslednja funkcija koristi:

$$X_j = X_j(i_{ij}) \quad (11)$$

$i = 1 \dots n$, n število variant

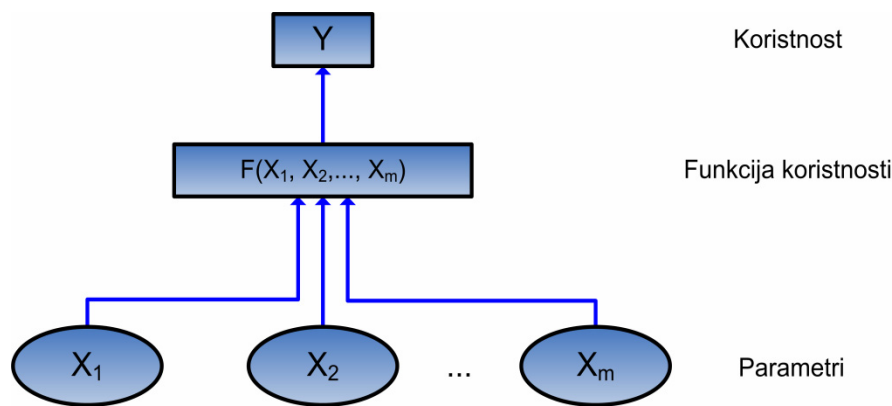
$j = 1 \dots m$, m število parametrov (kriterijev)

Delna funkcija koristi posameznemu parametru (kriteriju) z utežnim množenjem priredi vrednost - delno korist. Če seštejemo posamezne delne koristi po vseh parametrih, dobimo korist i-te variante i:

$$Y_i = F_i(X_1 \dots X_m) \quad (12)$$

$i = 1 \dots n$, n število variant

m število parametrov (kriterijev)



Slika 40: Večparametrski odločitveni model

6.2.3 Faze odločitvenega procesa

Odločitveni proces ni samo izbira najustreznejše variante, temveč tudi sistematično zbiranje in urejanje znanja. V proces odločanja moramo vpeljati zadostno število informacij, ki skrbijo za primerno odločitev, za zmanjšanje možnosti napak, za zmanjšanje stroškov odločanja in za povečanje kakovosti odločitve. V literaturi zasledimo naslednje faze odločitvenega procesa (Jereb in soavtorji, 2003).

Identifikacija problema. Ta faza je rezultat spoznanja, da je nastopil dovolj velik odločitveni problem, ki ga je smiselno reševati na sistematičen in organiziran način. V tej fazi skušamo natančno definirati problem ter opredeliti cilje in zahteve. Oblikujemo tudi odločitveno skupino, katere jedro sestavljajo odločevalci (t. i. »lastniki problema«), ki se morajo v končni fazi odločiti in so tudi odgovorni za odločitev.

Pri zahtevnejših problemih naj bi odločitveno skupino poleg odločevalcev sestavljali tudi:

- eksperti, ki imajo poglobljeno znanje o dani problematiki in lahko svetujejo pri oblikovanju odločitvenega modela;
- odločitveni analitik – metodolog, ki kot moderator vpliva na učinkovitost in usklajenost dela skupine ter skrbi za ustrezno metodološko in računalniško podporo odločanja;
- predstavniki tistih, ki jih odločitev zadeva.

Identifikacija kriterijev. V tej fazi identificiramo kriterije, na osnovi katerih bomo ocenjevali variante. Postopek identifikacije poteka v treh korakih.

- **Spisek kriterijev.** Oblikujemo nestrukturiran seznam kriterijev, ki jih bomo upoštevali pri odločanju.
- **Strukturiranje kriterijev.** Kriterije na podlagi medsebojne odvisnosti in vsebinske povezave uredimo in umestimo v hierarhično strukturo. Hierarhična struktura (drevo) kriterijev je običajno sestavljena iz štirih nivojev (slika 41).
- **Merski sistem.** Posameznim elementom, ki se nahajajo v drevesu kriterijev, moramo določiti ustrezno številsko vrednost. O tem več v samostojnem razdelku o analitičnem hierarhičnem procesu (AHP).

Posebej moramo paziti, da pri tem ne spregledamo kriterijev, ki bistveno vplivajo na odločitev (načelo popolnosti). Pri oblikovanju hierarhije kriterijev poskušamo izpolniti tudi nekatere druge zahteve, kot so njihova celovitost ter merljivost. Pregledati je potrebno tudi, da se kriteriji vsebinsko ne podvajajo, saj je tedaj eden od kriterijev v tem položaju odvečen.

Definicija funkcij koristi. V tej fazi definiramo funkcijo, ki nam daje končno oceno posameznih variant. Običajno gre za sestavljeno funkcijo ($F(f(x))$), ki korist priredijo s pomočjo akumulacije delnih koristi od najnižjih nivojev, ki se nahajajo v drevesu kriterijev, pa vse do korena tega drevesa. Običajno se uporabljajo preproste funkcije, kot so utežna vsota, pojavljajo pa se tudi zahtevnejše, ki imajo nekoliko večjo izrazno moč.

Opis variant. Oblikujemo seznam vseh potencialnih variant, ki jih želimo vrednotiti oziroma razvrstiti od najboljše do najslabše. Posamezne variante opisujemo s kvalitativnimi količinami, ki jih naknadno normiramo, da dobimo kazalnike. Do teh količin lahko pridemo z

bolj ali manj zahtevnim proučevanjem variant in zbiranjem podatkov o njih. Ob tem se pogosto srečamo s pomanjkljivimi ali nezanesljivimi podatki.

Vrednotenje in analiza variant. V zvezi z vrednotenjem variant smo ugotovili, da je praviloma najboljša tista, ki dobi najvišjo oceno. Besedo praviloma velja posebej poudariti, saj na končno oceno vpliva mnogo dejavnikov in pri vsakem od njih lahko pride do napake, zato sama končna ocena navadno ne zadostuje za celovito sliko izbora posameznih variant. Ta pojav se ne pojavlja samo v kontekstu odločanja, temveč na vseh bolj ali manj avtomatiziranih področjih in smo o njem podrobneje že govorili v razdelku 6.2.1. Da bi se opisanim težavam izognili, moramo posamezne ocene variant analizirati tako, da skušamo odgovorimo na naslednja vprašanja.

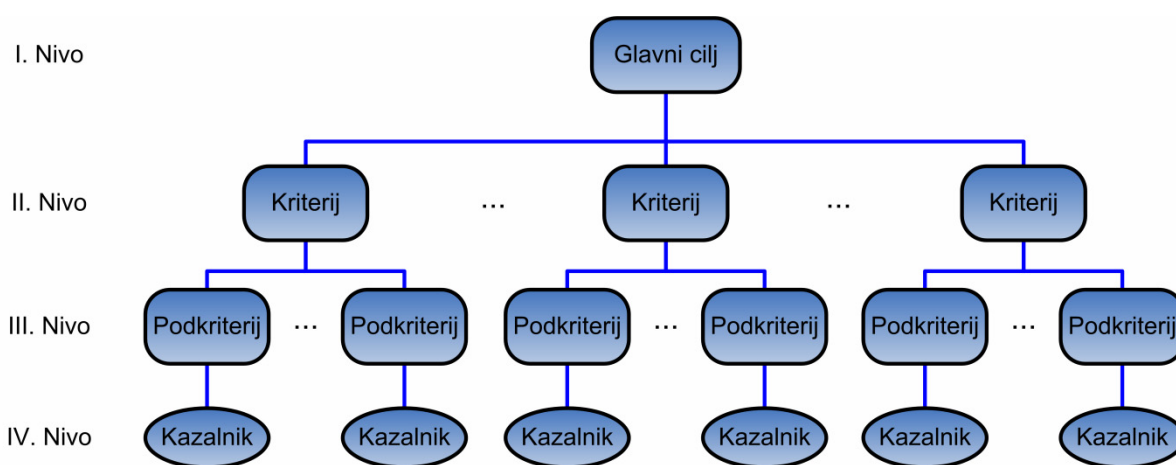
- Ali so nastopajoči kriteriji in njihove uteži ustrezne?
- Kateri kriteriji najbolj vplivajo na končno oceno?
- V čem se variante bistveno razlikujejo med seboj in kako se to pozna na rezultatu?
- Katere so bistvene prednosti in pomanjkljivosti posameznih variant?
- Kolikšna je občutljivost odločitve? To nam pokaže analiza občutljivosti, pri kateri raziskujemo vpliv spremembe posameznega vhodnega parametra na spremembo končnega rezultata.

Šele z ugodnimi odgovori na ta vprašanja lahko rečemo, da smo prišli do celovitejše, kvalitetnejše in bolj utemeljene odločitve. Tudi pri tem so nam v veliko pomoč računalniška orodja, ki imajo že vgrajene pripomočke za tovrstne analize.

6.2.4 AHP (analytical hierarchy process)

Nastopajoči parametri (kriteriji, podkriteriji (atributi)) pri večparametrskem odločanju, običajno niso enakovredni, zato moramo za vsakega posebej določiti ustrezno pomembnost (utež). Za te vrste potreb je Thomas L. Saaty leta 1988 razvil sofisticirano metodo AHP (Saaty, 1988). Metoda je poleg določanja pomembnosti (uteževanja) kriterijev uporabna tudi na drugih področjih. Že samo ime metode nam sugerira področje uporabe, ki je vezano na hierarhično zasnovo. V razdelku 4.4.1 je metoda omenjena v zvezi z uteževanjem posameznih elementov objekta pri ocenjevanju njihovega stanja.

Metoda AHP temelji na razčlembi osrednjega problema (cilj odločanja, objekt, itd.) na manjše podprobleme (kriteriji, atributi; konstrukcijski sklopi, elementi) in umestitvi teh gradnikov v hierarhično strukturo (drevesno strukturo) (slika 41). V nadaljevanju bo govora zgolj o določanju prioritete (uteži) parametrov odločanja, vendar je postopek analogen tudi za ostale hierarhične strukture. Prvi nivo hierarhične strukture torej zavzema glavni cilj odločanja. Drugi in tretji nivo zavzemajo parametri (kriteriji, podkriteriji (atributi)), ki natančneje opredeljujejo glavni cilj. Na dnu hierarhične strukture (četrti nivo) pa se nahajajo kazalniki, kot kvantitativna vrednost parametrov.



Slika 41. Drevesna struktura niza kriterijev

Če želimo vedeti, koliko posamezni kazalniki prispevajo h glavnemu cilju, moramo najprej poznati uteži vseh parametrov, ki jih dobimo s pomočjo metode AHP. Postopek učinkovite uporabe AHP metode predvideva naslednje korake (Mrvar, 2007).

1. Opredelitev glavnega cilja (npr. razvrščanje avtocestnih nadvoзов na podlagi potrebnih intervencijskih posegov, optimalna izbira pogodbenikov itd.).
2. Sledi določitev vseh parametrov (kriteriji, podkriteriji (atributi)), za katere želimo določiti uteži. Sestavimo hierarhično strukturo (slika 41).
3. Zaradi lažje primerjave parametrov definiramo preferenčno relacijo

$$x P y, \quad (13)$$

ki nam pove, da je kriterij x P -krat bolj pomemben kot kriterij y . S pomočjo preferenčne relacije za prvi in drugi nivo hierarhične strukture tvorimo kvadratne primerjalne matrike.

Primerjalna matrika

$$\mathbf{A} = a_{ij} \quad (i = 1 \dots n, j = 1 \dots n) \quad (14)$$

naj predstavlja vse parne primerjave n parametrov. Število primerjalnih matrik ustreza številu razvejišč drevesne strukture. Če si pogledamo drevesno strukturo, ki jo prikazuje slika 41, vidimo štiri razvejišča (eno na drugem nivoju in tri na tretjem nivoju). Na drugem nivoju je dimenzija primerjalne matrike enaka številu kriterijev, na tretjem nivoju pa je dimenzija primerjalne matrike določena s številom podkriterijev (atributov) pod določenim kriterijem. Členi primerjalne matrike torej izražajo preferenčno relacijo za vse nastopajoče parametre. Za preferenčne relacije običajno uporabljamo naslednjo devet stopenjsko lestvico:

- $a_{ij} = 1$ – parametra i in j sta *enako* pomembna
- $a_{ij} = 3$ – parameter i je *malce* pomembnejši od j
- $a_{ij} = 5$ – parameter i je *opazno* pomembnejši od j
- $a_{ij} = 7$ – parameter i je *bistveno* pomembnejši od j
- $a_{ij} = 9$ – parameter i je *absolutno* pomembnejši od j

Vrednosti 2, 4, 6, 8 predstavljajo vmesne preferenčne vrednosti, če se ne moremo odločiti med zgoraj navedenimi. Za vse naštetje stopnje obstajajo tudi recipročne vrednosti, če je parameter j pomembnejši od i ($a_{ij} = 1/5$ – parameter j je opazno pomembnejši od i). Za tvorbo primerjalne matrike dimenzije n moramo tako podati $\binom{n-1}{2}$ različnih parnih primerjav. V zvezi z določanjem parnih primerjav se pojavi problem usklajenosti

$$a_{ik} * a_{kj} = a_{ij} \quad ???, \quad (15)$$

ki izhaja iz preproste logike: če je parameter i pomembnejši od k in k pomembnejši od j , je tudi i pomembnejši od j . Ponavadi delamo parne primerjave ločeno za poljubno

število parametrov, zato popolno usklajenost vseh medsebojnih primerjav le redko dosežemo in je sama metoda ne zahteva. Sicer pa je postopek iterativen. Člene primerjalne matrike popravljamo toliko časa, dokler ne dosežemo usklajenosti v izbranem tolerančnem območju.

4. Imamo primerjalno matriko. Kako določiti prioritetni vektor (»*priority vector*«)? Matematično gre za problem iskanja lastnih vrednosti in lastnih vektorjev matrike, kjer rešujemo enačbo:

$$\lambda \cdot \mathbf{v} = \mathbf{A} \cdot \mathbf{v} \quad (16)$$

Izkaže se, da je prioritetni vektor \mathbf{v} lastni vektor matrike \mathbf{A} , ki pripada njeni največji lastni vrednosti λ_{\max} .

Primerjalna matrika \mathbf{A} je pozitivna recipročna matrika, za katero velja:

- po diagonali ima enice,
- simetrične vrednosti so recipročne: $a_{ij} = 1/a_{ji}$,
- vsebuje same pozitivne vrednosti.

Lastni vektor za pozitivno recipročno matriko, ki pripada največji lastni vrednosti, lahko določimo na dva načina: S točno metodo (npr. s programom Mathematica) ali pa s približno metodo. Če uporabimo približno metodo: normaliziramo matriko \mathbf{A} tako, da je vsota po stolpcih enaka ena, ter izračunamo aritmetično sredino posameznih vrstic normalizirane matrike. Dobimo prioritetni vektor $\mathbf{v} = v_i$ ($i = 1 \dots n$).

5. Kot smo že omenili, lahko za vsako primerjalno matriko \mathbf{A} izračunamo njeno usklajenost oz. usklajenost njenih primerjav. Za popolno usklajeno matriko \mathbf{A} velja, da je njena največja lastna vrednost enaka dimenziji matrike ($\lambda_{\max} = n$). Sicer pa je največja lastna vrednost večja od dimenzije matrike \mathbf{A} ($\lambda_{\max} > n$). Največjo lastno vrednost primerjalne matrike zopet lahko določimo na dva načina, s točno (npr. s programom Mathematica) ali pa približno metodo. Po približni metodi je največja lastna vrednost primerjalne matrike:

$$\lambda_{\max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(\mathbf{A} \times \mathbf{v}) \times i}{\mathbf{v}_i} \quad (17)$$

Na osnovi odstopanja največje lastne vrednosti in dimenzije matrike **A** določimo indeks usklajenosti **I**:

$$I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} \quad (18)$$

$$\lambda_{\max} = n \rightarrow I = 0 \text{ (A je popolnoma usklajena)}$$

Izračunati moramo še količnik usklajenosti matrike **A**, ki ga dobimo tako, da indeks usklajenosti **I** delimo z indeksom usklajenosti slučajno generiranih pozitivnih recipročnih matrik **I_R**. Slučajni indeks usklajenosti **I_R** je od dimenzije slučajno generiranih pozitivnih recipročnih matrik odvisen, kot prikazuje preglednica 8.

Preglednica 8: Slučajni indeks **I_R v odvisnosti od dimenzije matrike (Saaty, 1988)**

| N | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|----------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|
| I_R | 0,50 | 0,58 | 0,90 | 1,12 | 1,24 | 1,32 | 1,41 | 1,45 | 1,51 |

Če je količnik usklajenosti $I/I_R < 10\%$, je matrika **A** dovolj usklajena, sicer pa je treba matriko popraviti, ker je neuporabna in rezultira v (neusklajene, nerealne primerjave).

6. Korake 3, 4 in 5 ponavljamo za vse primerjalne matrike prvega in drugega nivoja hierarhične strukture.
7. Sledi množenje posameznih prioritiet parametrov hierarhične strukture z nadrejenimi prioritetai. Rezultat omenjenega postopka je prioritetni vektor (glede na sliko 41 je to prioritetni vektor podkriterijev (atributov)) na najnižjem nivoju hierarhične strukture. Dobljene komponente prioritetnega vektorja na poljubnem nivoju hierarhične strukture so seveda normalizirane, tako da je njihova vsota enaka ena.
8. Usklajenost tretjega nivoja hierarhične strukture, kjer imamo več primerjalnih matrik (slika 41), je enako kar vsoti usklajenosti posameznih matrik pomnoženih z ustrezno nadrejeno prioriteto. Pri iskanju slučajnega indeksa usklajenosti dimenzija **n** ustreza številu vseh podkriterijev (atributov). V primeru, da usklajenost tretjega nivoja ni ustrezna ($I/I_R > 10\%$), moramo posamezne matrike tega nivoja popraviti.

6.2.4.1 Primer določanja relativne pomembnosti kriterijev pri razvrščanju avtocestnih nadvozov s pomočjo metode AHP

Avtocestne nadvoze želimo razvrstiti na način, ki najbolje upravičuje intervencijske projekte. To je glavni cilj procesa odločanja. V danem primeru imamo na razpolago tri kriterije:

- oceno stanja (rating) celotnega objekta (RCO),
- višino indirektnih stroškov in
- starost objektov.

Zanimajo nas relativna pomembnost oz. uteži posameznih kriterijev. Najprej sestavimo hierarhično strukturo, kot jo prikazuje slika 42. Na vrhu hierarhije se nahaja glavni cilj, sledijo pa mu trije kriteriji. V splošnem lahko za doseg takšnega cilja nastopa več kriterijev, vendar se bomo zaradi nazornejšega prikaza uporabe metode omejili le na pomembnejše tri.



Slika 42: Umestitev kriterijev v drevesno strukturo

Na osnovi hierarhične strukture za posamezne kriterije tvorimo primerjalno matriko **A** (19).

Preglednica 9: Primerjalna matrika **A**

| | Rating nadvozov | Indirektni stroški | Starost nadvozov |
|--------------------|-----------------|--------------------|------------------|
| Rating nadvozov | 1 | 3 | 9 |
| Indirektni stroški | 0,33 | 1 | 6 |
| Starost nadvozov | 0,11 | 0,17 | 1 |
| Vsota po stolpcih | 1,44 | 4,17 | 16 |

(19)

Primerjalno matriko normaliziramo po stolpcih, tako da je njihova vsota enaka ena. Izračunamo aritmetične sredine posameznih vrstic normalizirane matrike, ki predstavljajo relativno pomembnost (uteži) posameznih kriterijev - prioritetni vektor **v** (20).

Preglednica 10: Tvorba prioritetnega vektorja iz (po stolpcih) normalizirane primerjalne matrike A

| | Rating nadvoзов | Indirektni stroški | Starost nadvoзов | Prioritetni vektor - v |
|---------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|-------------------------------|
| Rating nadvoзов | 1/1,44 | 3/4,17 | 9/16 | $1,97/3 = 0,66$ |
| Indirektni stroški | 0,33/1,14 | 1/4,17 | 6/16 | $0,85/3 = 0,28$ |
| Starost nadvoзов | 0,11/1,44 | 0,17/4,17 | 1/16 | $0,18/3 = 0,06$ |

(20)

Posamezne komponente prioritetnega vektorja (uteži) kažejo, da je najpomembnejši kriterij rating nadvoзов, sledi kriterij indirektnih stroškov ter kriterij starosti nadvoзов. Za zgornjo primerjalno matriko (19) nas zanima tudi indeks usklajenosti (I) ter količnik usklajenosti (I/I_R). Kot vemo, za to potrebujemo največjo lastno vrednost (λ_{\max}) matrike (19). Matriko (19) pomnožimo s prioritetnim vektorjem in dobimo vektor $\{2,04; 0,86; 0,18\}$, ki je definiran z izrazom (21) (preglednica 11). Iz zvez (24) in (25) izračunamo I oziroma I/I_R . Indeks usklajenosti slučajno generiranih pozitivnih recipročnih matrik, ki ga tudi potrebujemo, odčitamo iz preglednice 8 in je 0,58 ($n = 3$).

Preglednica 11: Pomožni produkt za izračun λ_{\max}

| | 0,66 | 0,28 | 0,06 | |
|---------------------------|------------------------|---------------------------|-------------------------|----------------|
| | Rating nadvoзов | Indirektni stroški | Starost nadvoзов | Produkt |
| Rating nadvoзов | 1 | 3 | 9 | 2,04 |
| Indirektni stroški | 0,33 | 1 | 6 | 0,86 |
| Starost nadvoзов | 0,11 | 0,17 | 1 | 0,18 |

(21)

Če delimo istoležne komponente vektorja (21) s komponentami prioritetnega vektorja (20), dobimo vektor:

$$\frac{\{2,04; 0,86; 0,18\}}{\{0,66; 0,28; 0,06\}} = \{3,10; 3,05; 3,01\} \quad (22)$$

Največja lastna vrednost (23) je tedaj aritmetična sredina posameznih komponent vektorja (22).

$$\lambda_{\max} = \frac{3,10 + 3,05 + 3,01}{3} = 3,05 \quad (23)$$

I oz. I/I_R izračunamo s pomočjo izrazov:

$$I = \frac{\lambda_{\max} - n}{n - 1} = \frac{3,05 - 3}{2} = 0,027 \quad (24)$$

$$I/I_R = \frac{0,027}{0,58} = 0,047 \leq 0,10 \quad (25)$$

Kot vidimo, je količnik I/I_R manjši od 10%, kar pomeni, da je primerjalna matrika (19) dovolj dobro usklajena.

6.3 Skupina nadvozov nad izbranim avtocestnim odsekom in odločanje

6.3.1 Obnova in zamenjava nadvozov

V tem razdelku bomo za skupino nadvozov, ki jih obravnavam v diplomski nalogi, skušali presoditi, ali je posamezni nadvoz bolj smotrno obnoviti ali zamenjati.

Vzorec cestnih objektov je sestavljen iz 27 nadvozov, ki so stari med 31 in 33 let (preglednica 5). Amortizacijska doba nadvozov je približno 50 let, življenjska doba takšnih objektov pa je lahko ob ustrezni izvedbi vzdrževanja, popravi in obnov tudi daljša kot 100 let. Očitno lahko s pravilnim pristopom k upravljanju cestnih objektov njihovo življenjsko dobo glede na pričakovano močno povečamo. Večina nadvozov zavzema kodirano oceno stanja DOBRO (4), kar kaže na to, da so nadvozi kljub nekaterim poškodbam zadnjih let v relativno dobrem stanju. Vizualne ocene stanja zaradi očitnih poškodb cestišča ter opreme objektov na prvi pogled pri večini objektov dajejo vtis nekoliko slabšega stanja kot DOBRO (4), vendar pa takšne poškodbe, kot že rečeno, malo vplivajo na samo nosilno konstrukcijo. Sanacija teh poškodb je običajno relativno enostavna in poceni, zato je rentabilnost obnove v tej situaciji očitna, ker lahko z relativno majhnim finančnim vložkom dosežemo velik učinek. Res da imajo včasih tudi nenosilni elementi velik vpliv, zlasti v smislu funkcionalnosti, vendar v primeru skupine nadvozov teh težav nimamo.

Prednost obnove pa se odraža tudi v primerih visokih indirektnih stroškov, ker imamo pri obnovi v primerjavi z zamenjavo nadvozov nekoliko krajšo intervencijsko dobo. Kljub vsemu pa se obnova cestnih objektov ne splača vedno. To se lahko zgodi v dveh primerih:

- ko stroški učinkovite obnove postanejo primerljivi s ceno zamenjave objektov ali
- ko z obnovo objektov ne moremo vzpostaviti želenega stanja (funkcionalnost, nosilnost, varnost itd.).

Čeprav imamo v prejšnjem odstavku navedenih nekaj argumentov, ki govorijo v prid obnovi nadvozov, pa si vseeno razloge za to pogledjmo na podlagi konkretnih podatkov. Denimo, da želimo podaljšati življenjsko dobo vseh obravnavanih nadvozov za 50 let, kar pomeni, da bi jih lahko potem nemoteno uporabljati do leta 2057. Zanima nas, katera izbira je v tem primeru bolj smotrna, obnova ali zamenjava. Primerjavo bomo naredili za vsak nadvoz posebej ob nekaterih postavkah cen, ki so bile vzete iz predhodno izvedenih podobnih investicij

nadvozov. Te podatke mi je v celoti za namene diplomske naloge posredovala družba DARS. Pravzaprav bomo primerjali stroške življenjskega cikla (*»life cycle cost«* - LCC) za posamezne nadvoze v dveh primerih – obnove (LCCO) in zamenjave (LCCZ). Preprost izračun življenjskih stroškov za obe opciji (LCCO in LCCZ) izhaja iz sredine sedemdesetih let, ko so bili nadvozi zgrajeni, in traja vse do hipotetične dobe njihove uporabe v leto 2057. Poleg nekaterih predpostavljenih cen v povezavi z LCC bo izračun izvršen tudi ob dodatni predpostavki, ki predvideva revalorizacijo vseh cen na današnji čas.

1. Pri izračunu stroškov življenjskega cikla za primer obnove bomo upoštevali naslednje stroške:
 - izgradnja nadvozov v sredini sedemdesetih let (tedanjih stroškov zapor ter indirektnih stroškov ne upoštevamo, ker so v primerjavi z današnjimi zanemarljivi),
 - vzdrževanje nadvozov po izgradnji bomo zanemarili, ker je bilo za to porabljenih precej manj sredstev, kot bi bilo potrebno za ohranjanje stanja na najvišjem nivoju,
 - obnova nadvozov z upoštevanjem stroškov zapor ter indirektnih stroškov,
 - vzdrževanje nadvozov po obnovi,
 - rušenje nadvozov.

 2. Pri izračunu stroškov življenjskega cikla za primer zamenjave pa naj bi si stroški sledili nekako takole:
 - izgradnja nadvozov v sredini sedemdesetih let (tedanjih stroškov zapor ter indirektnih stroškov ne upoštevamo, ker so v primerjavi z današnjimi zanemarljivi),
 - vzdrževanje nadvozov po izgradnji bomo tudi tu zanemarili, ker je bilo za to porabljenih precej manj sredstev, kot bi bilo potrebno za ohranjanje stanja na najvišjem nivoju.
 - zamenjava objektov z upoštevanjem stroškov zapor ter indirektnih stroškov,
 - vzdrževanje nadvozov po zamenjavi,
 - rušenje nadvozov.
-

Postavke, oznake in vrednosti, ki jih bomo upoštevali v nadaljevanju naloge so zbrane v preglednici 12. Vrednosti stroškov in trajanje obnove/zamenjave so okvirne ocene DARSa (Marc, 2007).

Preglednica 12: Oznake in postavke za skupino nadvozov

| Postavka | Oznaka | Vrednost |
|-------------------------------|--------|--|
| Tlorisna površina nadvoza | TPN | (preglednica 13) |
| Povprečni letni dnevni promet | PLDP | (preglednica 13) |
| Dolžina zapore | DZ | (preglednica 13) |
| Cena nadvoza | CN | $\approx \text{TPN} \times 1120,8 \text{ €/m}^2$ |
| Čas zamenjave nadvoza | ČZN | ≈ 6 mesecev (180 dni) |
| Stroški zamenjave nadvoza | SZN | $\approx \text{SRN} + \text{CN} + \text{SZZ} = \text{TPN} \times 1620,4 \text{ €/m}^2$ |
| Stroški rušenja nadvoza | SRN | $\approx \text{TPN} \times 208,3 \text{ €/m}^2$ |
| Čas obnove nadvoza | ČON | ≈ 4 mesece (120 dni) |
| Cena obnovitvenih del | COD | $\approx \text{TPN} \times 677,4 \text{ €/m}^2$ |
| Stroški obnove nadvoza | SON | $\approx \text{COD} + \text{SZO} = \text{TPN} \times 871,6 \text{ €/m}^2$ |
| Amortizacijska doba | AD | ≈ 50 let |
| Stroški vzdrževanja | SV | $\approx \text{CN}/\text{AD} = \text{TPN} \times 22,4 \text{ €/m}^2 \cdot \text{leto}$ |
| Stroški zapore pri zamenjavi | SZZ | $\approx \text{TPN} \times \text{ČZN} \times 1,618 \text{ €/m}^2/\text{dan}$ |
| Stroški zapore pri obnovi | SZO | $\approx \text{TPN} \times \text{ČON} \times 1,618 \text{ €/m}^2/\text{dan}$ |
| Indirektni stroški | is | $\approx 4,23\text{E-}02 \text{ €/km/vozilo}$ |
| Indirektni stroški obnove | ISO | $= \text{is} \times \text{DZ} \times \text{PLDP} \times \text{ČON} \approx$ $\approx 4,23\text{E-}02 \text{ €/km/vozilo} \times \text{DZ} \times \text{PLDP} \times \text{ČON}$ |
| Indirektni stroški zamenjave | ISZ | $= \text{is} \times \text{DZ} \times \text{PLDP} \times \text{ČZN} \approx$ $\approx 4,23\text{E-}02 \text{ €/km/vozilo} \times \text{DZ} \times \text{PLDP} \times \text{ČZN}$ |

Stroški zamenjave nadvoza (SZN) zajemajo stroške rušenja (starega) nadvoza (SRN), stroške zapore ter ceno (novega) nadvoza (CN). Podobno stroški obnove nadvoza (SON) vključujejo ceno obnovitvenih del (COD) ter stroške zapore (SZZ).

Vse zgornje postavke cen so vezane na tlorisno površino nadvozov, nekatere od njih pa tudi na druge parametre. Tako je naprimer ocena indirektnih stroškov (ISO, ISZ) vezana tudi na čas trajanja zapore, dolžino zapore in PLDP (povprečni letni dnevni promet) (DRSC, 2007).

Kot vidimo so predpostavljene stroški obnove nadvozov (SON) za vse objekte enaki, kar pomeni, da ta cenovna postavka v tem primeru ni odvisna od obstoječega stanja objektov. Glede na to, da je kodirana ocena stanja trenutno za večino obravnavanih nadvozov enaka DOBRO (4), potem takšno vrednotenje stroškov obnove nadvozov ne vodi do večjih napak.

Pri stroških vzdrževanja (SV) upoštevamo, da so ti enaki tako v primeru obnove kot zamenjave nadvozov. Za približno letno vsoto, ki bi jo morali nameniti za vzdrževanje, da bi stanje nadvozov ohranjali na začetnem nivoju obnašanja, lahko vzamemo kar količnik vrednosti nadvozov ter njihove amortizacijske dobe.

Indirektni stroški so približno izračunani na osnovi upoštevanja daljšega časa, ki ga porabimo pri vožnji preko zapor na avtocesti, kjer je omejitev 60 km/h. Za povprečno (nemoteno) hitrost vozil na avtocesti upoštevam 130 km/h. Tovorna vozila sicer izgubijo nekoliko manj časa, vendar lahko upoštevamo, da je zaradi tovora, ki ga prevažajo, v povprečju njihov čas bolj dragocen, kar pomeni da je zgornja postavka kljub vsemu dokaj konzervativna (indirektni stroški so v resnici morda nekoliko višji). Sicer pa je čas, izgubljen zaradi počasnejše vožnje, vrednoten na podlagi današnje povprečne neto slovenske plače (≈ 830 €) ter povprečnega mesečnega števila delovnih ur (≈ 176 h) (Statistični urad republike Slovenije, 2007).

$$is = \left(\frac{1}{60 \text{ km/h}} - \frac{1}{130 \text{ km/h}} \right) \times \frac{830 \text{ €}}{176 \text{ h}} = 0,0423 \frac{\text{€}}{\text{km} \times \text{lvozilo}} \quad (26)$$

Stroške življenjskega cikla vseh 27 nadvozov za obe opciji LCCO ter LCCZ izračunamo s pomočjo naslednjih izrazov:

- **indirektnih stroškov ne upoštevamo:**

$$\text{LCCObnova}_i = \text{CN}_i + \text{COD}_i + \text{SZO}_i + \text{SV}_i + \text{SRN}_i \quad (27)$$

$$\text{LCCZamenjava}_i = \text{CN}_i + \text{SRN}_i + \text{CN}_i + \text{SZZ}_i + \text{SV}_i + \text{SRN}_i \quad (28)$$

$$i = 1 \dots 27$$

- **indirektne stroške upoštevamo:**

$$\text{LCCObnova}_i = \text{CN}_i + \text{COD}_i + \text{SZ}_i + \text{ISO}_i + \text{SV}_i + \text{SRN}_i \quad (29)$$

$$\text{LCCZamenjava}_i = \text{CN}_i + \text{SRN}_i + \text{CN}_i + \text{SZ}_i + \text{ISZ}_i + \text{SV}_i + \text{SRN}_i \quad (30)$$

$$i = 1 \dots 27$$

6.3.1.1 Rezultati

Vrednosti za posamezne nadvoze dobimo ob upoštevanju zgornjih izrazov ter cenovnih postavk in oznak v preglednici 12. Razliko, ki nastane med LCCO in LCCZ za vsak nadvoz posebej, določimo za dva primera: enkrat upoštevamo indirektno stroške, drugič pa jih ne

(preglednica 13). Ker smo računali razliko med LCCO in LCCZ, nam negativne vrednosti v preglednici 13 predstavljajo prihranek v življenjskem ciklu obnove glede na življenjski cikel zamenjave objektov. V izračunu smo upoštevali obdobje od samega začetka izgradnje nadvozov iz sredine sedemdesetih let pa do leta 2057, vendar se nastala razlika zaradi enakih stroškov vzdrževanja, ki smo ji upoštevali tako pri LCCO kot LCCZ, ohranja za poljubno izbrano obdobje v prihodnosti.

Preglednica 13: Podatki, izračun razlike med LCCO in LCCZ za posamezne nadvoze

| | Šifra objekta | TPN [m ²] | Indirektni stroški | | NE | DA |
|----|---------------|-----------------------|--------------------|---------|-----------------|-----------------|
| | | | PLDP | DZ [km] | LCCO – LCCZ [€] | LCCO – LCCZ [€] |
| 1 | VA0055 | 460,5 | 30800 | 1,28 | -344.817 | -444.771 |
| 2 | VA0056 | 472,6 | 30830 | 2,52 | -353.877 | -550.752 |
| 3 | VA0057 | 521,9 | 30830 | 2,52 | -390.792 | -587.667 |
| 4 | VA0058 | 552,6 | 29500 | 2,52 | -413.780 | -602.180 |
| 5 | VA0061 | 444,8 | 29500 | 1,73 | -333.061 | -462.281 |
| 6 | VA0062 | 460,5 | 29500 | 2,56 | -344.817 | -536.213 |
| 7 | VA0066 | 390,0 | 29500 | 2,63 | -292.027 | -489.117 |
| 8 | VA0069 | 442,0 | 29500 | 2,63 | -330.964 | -528.054 |
| 9 | VA0071 | 442,0 | 19800 | 2,02 | -330.964 | -432.678 |
| 10 | VA0074 | 390,0 | 19800 | 2,14 | -292.027 | -399.473 |
| 11 | VA0075 | 642,8 | 19800 | 2,13 | -481.283 | -588.377 |
| 12 | VA0077 | 373,5 | 19800 | 2,15 | -279.672 | -387.520 |
| 13 | VA0079 | 460,5 | 19800 | 2,15 | -344.817 | -452.665 |
| 14 | VA0082 | 552,6 | 21000 | 1,99 | -413.780 | -520.006 |
| 15 | VA0083 | 460,5 | 21000 | 1,99 | -344.817 | -451.042 |
| 16 | VA0092 | 390,0 | 21000 | 2,65 | -292.027 | -433.075 |
| 17 | VA0098 | 521,9 | 21000 | 2,37 | -390.792 | -516.962 |
| 18 | VA0099 | 546,5 | 26000 | 2,37 | -409.183 | -565.392 |
| 19 | VA0101 | 430,5 | 26000 | 2,37 | -322.353 | -478.563 |
| 20 | VA0102 | 430,5 | 26000 | 2,04 | -322.353 | -457.106 |
| 21 | VA0106 | 472,6 | 26000 | 2,08 | -353.877 | -491.403 |
| 22 | VA0109 | 491,2 | 26000 | 2,24 | -367.805 | -515.564 |
| 23 | VA0110 | 539,3 | 26000 | 2,24 | -403.836 | -551.595 |
| 24 | VA0112 | 924,8 | 30700 | 2,25 | -692.513 | -867.744 |
| 25 | VA0113 | 1645,6 | 30700 | 2,25 | -1.232.179 | -1.407.410 |
| 26 | VA0116 | 543,6 | 30697 | 2,17 | -407.041 | -575.803 |
| 27 | VA0119 | 543,6 | 30697 | 2,69 | -407.041 | -616.649 |

V primeru obravnavane skupine nadvozov torej vidimo, da je obnova objektov trenutno bolj smotrna izbira ne glede na to, ali v izračunu upoštevamo indirektno stroške ali ne. Nadalje

lahko iz vrednosti, ki so zbrane v preglednici 13, vidimo, da je vpliv indirektnih stroškov kljub izjemno poenostavljeni metodologiji izračuna zelo veliko, kar gre pripisati predvsem velikemu povprečnemu letnemu dnevnu prometu (PLDP).

6.3.2 Izdelava prioritete obnovitvenih projektov za skupino nadvozov

Upravljaivec cestne infrastrukture ima praviloma omejeno višino finančnih sredstev, namenjenih obnovi obstoječih objektov. Torej ne moremo predpostaviti, da bo upravljaivec sposoben v danem trenutku vrhunsko popraviti in obnoviti vse (obnove potrebne) cestne objekte naenkrat. Razpoložljiva finančna sredstva morajo biti zato porabljena kar najbolj smotrno; obnoviti moramo tiste objekte, kjer bo skupna korist obnove kar največja.

V prejšnjem poglavju smo ugotovili, da se za obravnavano skupino nadvozov trenutno bolj splača obnova. Ob cenovnih postavkah in drugih količinah, ki smo jih podali v razdelku 6.3.1, bi za obnovo vseh sedemindvajsetih nadvozov porabili cca. 12.700.000 € ($\sum A \times SON$). Če k tem stroškom obnove prištejemo še indirektno stroške, pa pridemo do zneska cca. 20.700.000 € ($12.700.000 \text{ €} + \sum ISO \times PLDP \times DZ$) (preglednica 16).

Reševanje problema bomo razdelili na dva dela. V prvem bomo skušali razporediti posamezne variante po načelu dosežene koristi. Konkretnije nas za dano skupino nadvozov zanima vrstni red, ki naj bi ga upoštevali pri obnovi teh objektov. Za to bomo uporabili principe večparametrskega odločanja na način, ki ga opisuje razdelek 6.2.2. V drugem delu reševanja tega problema pa bomo skušali poiskati optimalno rešitev ob nekaterih robnih pogojih s pomočjo metode nahrbtnika. Poleg finančnih omejitev se v primeru nadvozov ponujajo tudi nekatere ugodnosti, ki jih moramo pri upoštevanju razpoložljivih sredstev in maksimiziranju koristi prav tako izkoristiti. Te ugodnosti so vezane predvsem na vozne pogoje na avtocesti, na kateri moramo zaradi izvajanja obnovitvenih del en vozni pas zapreti za promet.

6.3.2.1 Določanje vrstnega reda nadvozov, ki jih bomo obnovili

Za skupino nadvozov želimo izdelati računski model, ki bo na podlagi danih kriterijev določil končno oceno oz. Korist obnovitvenih projektov za posamezne nadvoze. Za to bomo uporabili tehniko večparametrskega odločanja, ki jo podrobneje opisujemo v razdelku 6.2.2. Oznake in

postavke, ki jih pri tem potrebujemo, pa smo definirali v razdelku 6.3.1. Dodatno bomo definirali še oznako SON_{SK} , ki jo bomo uporabljali v nadaljevanju in označuje vse stroške ($SON + IS +$ vpliv na združevanje sanacij), ki se lahko v zvezi z obnovo nadvoza pojavijo. V razdelku 6.3.1 smo ločevali stroške zapore obnove/zamenjave (SZO/SZZ) ter indirektne stroške obnove/zamenjave (ISO/ISZ), v tem razdelku pa se vse količine nanašajo na obnovo nadvozov, zato bomo v nadaljevanju za SZO pisali SZ ter ISO kar IS. Poleg tega bomo v nadaljevanju za skupne stroške obnove nadvozov uporabili tudi oznako, pri kateri upoštevamo indirektne stroške ter združevanje sanacij nadvozov. Poglejmo si glavne elemente večparametrskega odločanja za skupino 27 nadvozov.

Korist ali končna ocena (Y) odločitvenega procesa je v primeru 27 nadvozov tista vrednost, ki ponazarja upravičenost obnove nadvozov. Dobimo jo s pomočjo funkcije koristi:

$$Y_i = F_i [X_j(i_{i,j})] \quad (31)$$

$i = 1 \dots 27$ (obravnavamo 27 nadvozov)

$j = 1 \dots 5$ (pri tem uporabimo 5 kriterijev)

Kriteriji (parametri) odločanja in njihove oznake.

- **Rating celotnega objekta – RCO.** Izhaja iz metodologije, ki je opisana v razdelku 4.4.3. Ocene oz. ratingi nadvozov izhajajo iz zadnjega rednega pregleda 2004.
- **Starost nadvoza – SN.** Posredno lahko kriterij zajema tudi vpliv funkcionalnosti. Starejši objekti so po funkcionalnosti praviloma slabši.
- **Združevanje – Z.** Kriterij temelji na maksimalnem možnem številu združitvev sanacij nadvozov zaradi skupne zapore (nadvozi ležijo med dvema zaporednima prehodoma čez sredino)
- **Indirektni stroški – IS.** Izračun indirektnih stroškov je opisan v razdelku 6.3.1.
- **Stroški obnove nadvoza – SON.** Kriterij stroški obnove nadvoza (SON) zajema ceno obnovitvenih del (COD) ter stroške zapore (SZ).

Kazalnike, ki zastopajo zgornje parametre, določamo po naslednjem postopku.

Izhajamo iz vrednosti v preglednici 14, ki opredeljujejo parametre (kriterije) posameznih nadvozov. Tako naprimer predstavljajo RCO pozitivna realna števila, starost objektov izražamo v letih itd. Da lahko medsebojno primerjamo vpliv posameznih parametrov, jih

moramo normalizirati tako, da zavzame minimalna vrednost normaliziranega parametra 1, maksimalna pa 10.

V splošnem lahko razlikujemo med dvema vrstama kriterijev in pripadajočih vrednosti. Prve sorazmerno zastopajo parametre, kar pomeni, da je ocena (korist) glede na izbrani kriterij visoka, če je številčna vrednost parametra visoka. V to skupino sodijo rating celotnega objekta (RCO), starost nadvoza (SN) in združevanje (Z). Večji kot je na primer RCO, višjo oceno (korist) dobimo z odločitvijo za obnovo.

V drugi skupini so kriteriji, kjer je ocena (korist) nižja, če je pripadajoča realna vrednost višja, odvisnost je torej obratnosorazmerna. V opisano skupino sodijo stroški obnove nadvozov (SON) in indirektni stroški (IS). S povečanjem stroškov obnove se torej pripadajoča ocena (korist) zniža.

Vrednosti, ki pripadajo kriterijem iz prve skupine, normaliziramo s pomočjo izraza (32), tiste iz druge skupine pa s pomočjo izraza (33). Normalizirane vrednosti, ki pripadajo posameznim parametrom (kriterijem), imenujemo kazalniki (preglednica 15). Če ima nadvoz glede na določen parameter najvišjo oceno, je vrednost kazalnika 10, v nasprotnem primeru pa vrednost 1.

$$i_{i,j} = (f_{i,j} - f_{j,\min}) \times \frac{9}{f_{j,\max} - f_{j,\min}} + 1 \quad (32)$$

$$i_{i,j} = -(f_{i,j} - f_{j,\min}) \times \frac{9}{f_{j,\max} - f_{j,\min}} + 10 \quad (33)$$

$$i = 1 \dots 27, j = 1 \dots 5$$

Preglednica 14: Vrednosti parametrov (kriterijev) odločanja za posamezne nadvoze

| | | RCO | SN | Z | IS | SON |
|----|----------------------|--------------|-------------|----------|------------------|-------------------|
| | Šifra objekta | / | Leto | / | € | € |
| 1 | VA0055 | 4,29 | 33 | 1 | 199.909 | 401.370 |
| 2 | VA0056 | 9,02 | 33 | 3 | 393.749 | 411.916 |
| 3 | VA0057 | 6,61 | 31 | 3 | 393.749 | 454.886 |
| 4 | VA0058 | 9,03 | 32 | 3 | 376.799 | 481.644 |
| 5 | VA0061 | 9,92 | 32 | 1 | 258.441 | 387.686 |
| 6 | VA0062 | 6,78 | 31 | 1 | 382.792 | 401.370 |
| 7 | VA0066 | 5,45 | 31 | 2 | 394.179 | 339.922 |
| 8 | VA0069 | 12,57 | 31 | 2 | 394.179 | 385.245 |
| 9 | VA0071 | 11,61 | 31 | 1 | 203.428 | 385.245 |
| 10 | VA0074 | 12,57 | 31 | 1 | 214.892 | 339.922 |
| 11 | VA0075 | 9,51 | 31 | 1 | 214.188 | 560.218 |
| 12 | VA0077 | 13,74 | 31 | 2 | 215.696 | 325.541 |
| 13 | VA0079 | 4,77 | 31 | 2 | 215.696 | 401.370 |
| 14 | VA0082 | 11,89 | 31 | 2 | 212.451 | 481.644 |
| 15 | VA0083 | 15,01 | 31 | 2 | 212.451 | 401.370 |
| 16 | VA0092 | 6,29 | 31 | 1 | 282.095 | 339.922 |
| 17 | VA0098 | 10,17 | 31 | 3 | 252.339 | 454.886 |
| 18 | VA0099 | 9,87 | 31 | 3 | 312.420 | 476.292 |
| 19 | VA0101 | 5,27 | 31 | 3 | 312.420 | 375.222 |
| 20 | VA0102 | 6,96 | 31 | 1 | 269.505 | 375.222 |
| 21 | VA0106 | 7,37 | 31 | 1 | 275.051 | 411.916 |
| 22 | VA0109 | 9,11 | 31 | 2 | 295.518 | 428.128 |
| 23 | VA0110 | 9,83 | 31 | 2 | 295.518 | 470.069 |
| 24 | VA0112 | 11,84 | 31 | 2 | 350.463 | 806.091 |
| 25 | VA0113 | 14,89 | 31 | 2 | 350.463 | 1.434.266 |
| 26 | VA0116 | 18,05 | 31 | 1 | 337.523 | 473.799 |
| 27 | VA0119 | 10,07 | 31 | 1 | 419.215 | 473.799 |
| | MAKS | 18,05 | 33 | 3 | 419.215 | 1.434.266 |
| | MIN | 4,29 | 31 | 1 | 199.909 | 325.541 |
| | Σ | | | | 8.035.127 | 12.678.961 |

Preglednica 15: Kazalniki parametrov (normalizirane vrednosti) za posamezne nadvoze

| | Šifra objekta | RCO | SN | Z | IS | SON |
|----|---------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| 1 | VA0055 | 1,00 | 10,00 | 1,00 | 10,00 | 9,38 |
| 2 | VA0056 | 4,09 | 10,00 | 10,00 | 2,05 | 9,30 |
| 3 | VA0057 | 2,52 | 1,00 | 10,00 | 2,05 | 8,95 |
| 4 | VA0058 | 4,10 | 5,50 | 10,00 | 2,74 | 8,73 |
| 5 | VA0061 | 4,68 | 5,50 | 1,00 | 7,60 | 9,50 |
| 6 | VA0062 | 2,63 | 1,00 | 1,00 | 2,49 | 9,38 |
| 7 | VA0066 | 1,76 | 1,00 | 5,50 | 2,03 | 9,88 |
| 8 | VA0069 | 6,42 | 1,00 | 5,50 | 2,03 | 9,52 |
| 9 | VA0071 | 5,79 | 1,00 | 1,00 | 9,86 | 9,52 |
| 10 | VA0074 | 6,42 | 1,00 | 1,00 | 9,39 | 9,88 |
| 11 | VA0075 | 4,41 | 1,00 | 1,00 | 9,41 | 8,10 |
| 12 | VA0077 | 7,18 | 1,00 | 5,50 | 9,35 | 10,00 |
| 13 | VA0079 | 1,31 | 1,00 | 5,50 | 9,35 | 9,38 |
| 14 | VA0082 | 5,97 | 1,00 | 5,50 | 9,49 | 8,73 |
| 15 | VA0083 | 8,01 | 1,00 | 5,50 | 9,49 | 9,38 |
| 16 | VA0092 | 2,31 | 1,00 | 1,00 | 6,63 | 9,88 |
| 17 | VA0098 | 4,85 | 1,00 | 10,00 | 7,85 | 8,95 |
| 18 | VA0099 | 4,65 | 1,00 | 10,00 | 5,38 | 8,78 |
| 19 | VA0101 | 1,64 | 1,00 | 10,00 | 5,38 | 9,60 |
| 20 | VA0102 | 2,75 | 1,00 | 1,00 | 7,14 | 9,60 |
| 21 | VA0106 | 3,01 | 1,00 | 1,00 | 6,92 | 9,30 |
| 22 | VA0109 | 4,15 | 1,00 | 5,50 | 6,08 | 9,17 |
| 23 | VA0110 | 4,62 | 1,00 | 5,50 | 6,08 | 8,83 |
| 24 | VA0112 | 5,94 | 1,00 | 5,50 | 3,82 | 6,10 |
| 25 | VA0113 | 7,93 | 1,00 | 5,50 | 3,82 | 1,00 |
| 26 | VA0116 | 10,00 | 1,00 | 1,00 | 4,35 | 8,80 |
| 27 | VA0119 | 4,78 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 8,80 |

Opomba: Temneje obrvana polja v preglednicah bodo v nadaljevanju označevala tiste nadvoze, pri katerih je možnost združitve obnov oz. možnost skupne zapore.

Funkcija koristi je predpis, ki nam za posamezne nadvoze priredi skupno korist oz. vrednost glede na vse upoštevane kriterije. Matriko kazalnikov definiramo kot

$$\mathbf{I} = i_{i,j} \quad (i = 1 \dots 27, j = 1 \dots 5), \quad (34)$$

kjer je i indeks nadvoza, j pa indeks kriterija. Člene matrike izračunamo s pomočjo izrazov (32) in (33). Pri odločanju nas zanima skupna korist posameznega nadvoza. Skupne koristi vseh nadvoзов izrazimo z vektorjem koristi:

$$\mathbf{Y} = Y_i \quad (i = 1 \dots 27) \quad (35)$$

Posameznim kriterijem pripadajo različne uteži (relativne pomembnosti, ponderji), ki jih izrazimo z vektorjem uteži:

$$\mathbf{w} = w_j \quad (j = 1 \dots 5) \quad (36)$$

Med navedenimi količinami velja naslednja zveza:

$$\mathbf{Y} = \mathbf{I} * \mathbf{w} \quad (37)$$

Kazalniki v preglednici 15 neposredno razvrščajo nadvoze po posameznih kriterijih, če pa za posamezne kriterije poznamo tudi uteži (ponderje), lahko s pomočjo izraza (37) določimo vrstni red sanacij nadvozov za situacijo, ki jo določa več kriterijev.

6.3.2.2 Odločanje s pomočjo modela, ki temelji na metodi nahrbtnika

Na podlagi izračuna vektorja koristi Y lahko določimo vrstni red glede na dobljeno skupno korist, ki ga upoštevamo pri sanaciji; nadvoze, katerih obnova prinese največjo korist, obnovimo torej prve. Če imamo na voljo omejena finančna sredstva, izberemo iz dobljene lestvice N nadvozov z najvišjimi koristmi, katerih skupna vsota stroškov obnove ne preseže dodeljenih finančnih sredstev. Glede na vozne pogoje pri obnovi nadvozov lahko precej privarčujemo na stroških, ki so vezani na fizično izvedbo zapore, ter indirektnih stroških, če združujemo sanacije nadvozov. Zapora avtoceste pri sanaciji nadvoza namreč poteka vedno od prvega najbližjega prehoda preko sredine pred objektom do naslednjega najbližjega prehoda preko sredine za objektom. Če je med dvema zaporednima prehodoma sredine nadvozov več, je s stališča oviranja prometa smotrno, da se obnovitvena dela izvaja na vseh nadvozih med prehodoma. Vse to so zahteve, ki jih moramo pri optimalni razporeditvi sredstev upoštevati, saj dobimo s takšno izbiro večjo skupno korist ob nespremenjenih stroških.

Če naprimer združimo sanacije treh nadvozov, lahko od cene vseh treh sanacij odštejemo dvojne stroške zapor ter indirektnih stroškov, kar pomeni, da se stroški zapore ter indirektni stroški za posamezen nadvoz glede na prvotno stanje zmanjšajo za kar dve tretjini. Podobno lahko, če združimo sanacije dveh nadvozov, od posamezne cene sanacij odštejemo polovico stroškov, nastalih zaradi zapor ter indirektnih stroškov. Na obravnavanem vzorcu nadvozov lahko glede na lego prehodov preko sredine združimo kvečjemu tri sanacije nadvozov

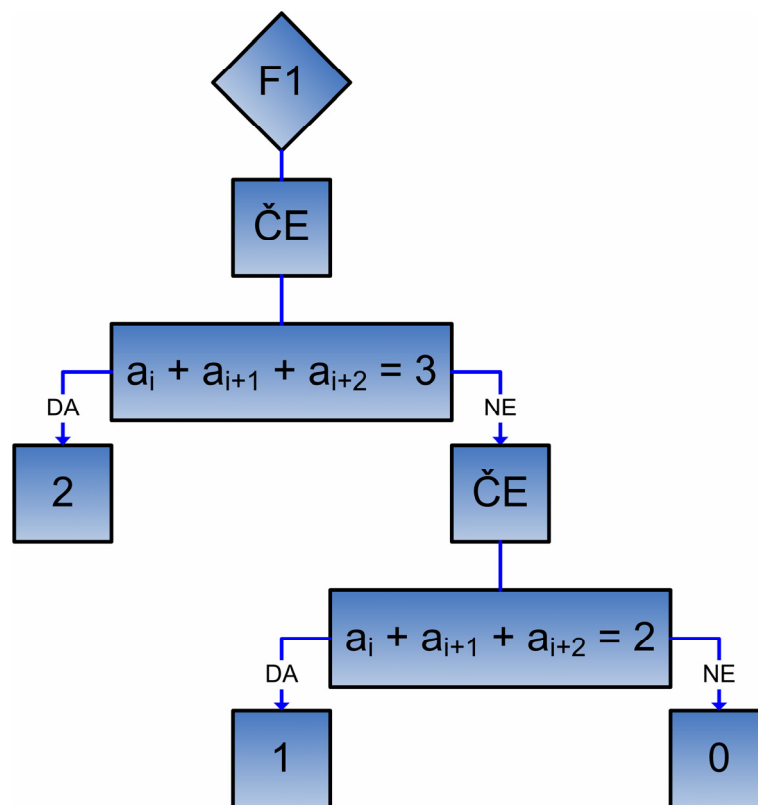
(maksimalno število združitvev - Z, preglednica 14). Hkrati lahko saniramo objekte 2, 3, 4 ter 17, 18, 19 oz. 7, 8; 12, 13; 14, 15; 22, 23 ter 24, 25.

Matematično opišemo pojav združevanja sanacij nadvozov z vpeljavo dveh funkcij F1 in F2 (slika 43, 44), ki ju bomo uporabili v izrazih (38), (39), (41) in (42) za izračun stroškov obnove nadvozov z upoštevanjem združevanja sanacij.

Funkcijo F1 uporabimo takrat, ko upoštevamo združevanje sanacij treh nadvozov, funkcijo F2 pa v primeru, ko lahko združimo le dve sanaciji objektov. Preden lahko definiramo funkciji F1 in F2, moramo definirati še odločitveni vektor $\mathbf{a} = a_i$ ($i = 1 \dots 27$), katerega komponente so odločitvene spremenljivke. Dimenzija vektorja ustreza številu variant, ki nastopajo v odločanju. V našem primeru so variante pri odločanju nadvozi, zato imamo 27 odločitvenih spremenljivk.

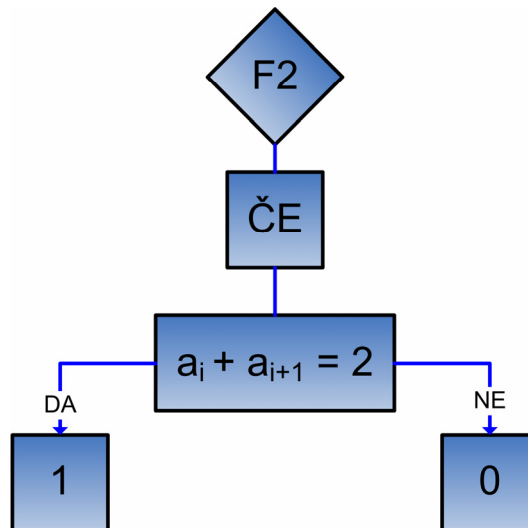
Velja:

$a_i = 1$, če je sanacija nadvoza i izbrana,
 $a_i = 0$, če sanacija nadvoza i ni izbrana,
 $i = 1 \dots 27$.



Slika 43: Določanje funkcije F1

F1 je predpis, ki priredi vrednost glede na število izbranih nadvoзов je prikazan na sliki 43. Imamo tri zaporedne nadvoze (a_i ; $i = 2, 17$), ki so združljivi ($Z_i = Z_{i+1} = Z_{ki+3} = 3$). Če je izbrana sanacija vseh treh, je vrednost F1 enaka 2. Če je izbrana sanacija dveh nadvoзов, dobimo vrednost 1, sicer pa 0.



Slika 44: Določanje funkcije F2

Podobno je opredeljen predpis F2. Imamo dva zaporedna nadvoza (a_i ; $i = 7, 12, 14, 22, 24$), ki sta združljiva ($Z_i = Z_{i+1} = 2$). Če izberemo sanacijo obeh nadvoзов, ima F2 vrednost 1, sicer pa 0.

Za izračun stroškov obnove nadvoзов, v katerih bomo zajeli tudi vpliv združevanja, uporabimo naslednje izraze in oznake.

▪ **Indirektnih stroškov ne upoštevamo.**

- Združimo lahko sanacije treh nadvoзов:

$$SON_{SK,i} = SON_i - LSA / 3 * SZ_i \quad (38)$$

$$i = 2, 3, 4 \text{ ter } 17, 18, 19$$

- Združimo lahko sanaciji dveh nadvoзов:

$$SON_{SK,i} = SON_i - LSB / 2 * SZ_i \quad (39)$$

$$i = 7, 8; 12, 13; 14, 15; 22, 23 \text{ ter } 24, 25$$

- Sanacij nadvozov ne moremo združiti:

$$SON_{SK,i} = SON_i \quad (40)$$

$$i = 1, 5, 6, 9, 10, 11, 16, 20, 21, 26, 27$$

- **Indirektne stroške upoštevamo.**

- Združimo lahko sanacije treh nadvozov:

$$SON_{SK,i} = SON_i - LSA / 3 * SZ_i - LSA / 3 * IS_i \quad (41)$$

$$i = 2, 3, 4 \text{ ter } 17, 18, 19$$

- Združimo lahko sanaciji dveh nadvozov:

$$SON_{SK,i} = SON_i - LSB / 2 * SZ_i - LSB / 2 * IS_i \quad (42)$$

$$i = 7, 8; 12, 13; 14, 15; 22, 23 \text{ ter } 24, 25$$

- Sanacij nadvozov ne moremo združiti:

$$SON_{SK,i} = SON_i + IS_i \quad (43)$$

$$i = 1, 5, 6, 9, 10, 11, 16, 20, 21, 26, 27$$

Skupne stroške obnove nadvozov (SON_{SK}) smo za različne variante od A do D, glede na to ali poleg standardnih stroškov obnove nadvozov (SON) upoštevamo indirektne stroške (IS) ter združevanje sanacij, izračunali po izrazih od (38) do (43) s pomočjo programskega orodja MS Excel ter rezultate zapisali v preglednico 16.

Preglednica 16: Skupni stroški obnove nadvoзов (SON_{SK}) za variante glede na upoštevanje združevanja sanacij ter indirektnih stroškov

| Varianta | | A | B | C | D |
|--------------------|--------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Indirektni stroški | | NE | NE | DA | DA |
| Združevanje | | NE | DA | NE | DA |
| | | SON _{SK} | SON _{SK} | SON _{SK} | SON _{SK} |
| Šifra objekta | | € | € | € | € |
| 1 | VA0055 | 401.370 | 401.370 | 601.278 | 601.278 |
| 2 | VA0056 | 411.916 | 350.744 | 805.665 | 481.994 |
| 3 | VA0057 | 454.886 | 387.333 | 848.635 | 518.582 |
| 4 | VA0058 | 481.644 | 410.117 | 858.443 | 535.717 |
| 5 | VA0061 | 387.686 | 387.686 | 646.127 | 646.127 |
| 6 | VA0062 | 401.370 | 401.370 | 784.162 | 784.162 |
| 7 | VA0066 | 339.922 | 302.062 | 734.101 | 499.151 |
| 8 | VA0069 | 385.245 | 342.337 | 779.424 | 539.426 |
| 9 | VA0071 | 385.245 | 385.245 | 588.673 | 588.673 |
| 10 | VA0074 | 339.922 | 339.922 | 554.814 | 554.814 |
| 11 | VA0075 | 560.218 | 560.218 | 774.406 | 774.406 |
| 12 | VA0077 | 325.541 | 289.282 | 541.237 | 397.131 |
| 13 | VA0079 | 401.370 | 356.665 | 617.066 | 464.514 |
| 14 | VA0082 | 481.644 | 427.999 | 694.095 | 534.224 |
| 15 | VA0083 | 401.370 | 356.665 | 613.821 | 462.891 |
| 16 | VA0092 | 339.922 | 339.922 | 622.017 | 622.017 |
| 17 | VA0098 | 454.886 | 387.333 | 707.225 | 471.446 |
| 18 | VA0099 | 476.292 | 405.560 | 788.712 | 509.700 |
| 19 | VA0101 | 375.222 | 319.499 | 687.641 | 423.639 |
| 20 | VA0102 | 375.222 | 375.222 | 644.727 | 644.727 |
| 21 | VA0106 | 411.916 | 411.916 | 686.967 | 686.967 |
| 22 | VA0109 | 428.128 | 380.443 | 723.645 | 528.202 |
| 23 | VA0110 | 470.069 | 417.713 | 765.587 | 565.472 |
| 24 | VA0112 | 806.091 | 716.309 | 1.156.554 | 891.540 |
| 25 | VA0113 | 1.434.266 | 1.274.519 | 1.784.730 | 1.449.750 |
| 26 | VA0116 | 473.799 | 473.799 | 811.323 | 811.323 |
| 27 | VA0119 | 473.799 | 473.799 | 893.014 | 893.014 |
| MAKS | | 1.434.266 | 1.274.519 | 1.784.730 | 1.449.750 |
| MIN | | 325.541 | 289.282 | 541.237 | 397.131 |
| Σ | | 12.678.961 | 11.675.050 | 20.714.088 | 16.880.886 |

Opis uporabljenega računskega modela odločanja

Predpostavimo, da imamo za sanacijo nadvozov na voljo le 10 milijonov evrov, kar je nekoliko manj od polovične vrednosti vseh sanacijskih projektov, če ne upoštevamo indirektnih stroškov ter združevanja sanacij na odsekih med posameznimi prehodi (preglednica 14). To vsoto želimo kar najbolj racionalno porabiti za obnovo nadvozov, pri čemer želimo upoštevati tudi zmanjšanje stroškov zaradi združevanja sanacij.

Rešitev poiščemo iterativno s pomočjo metode nahrbtnika («knapsack model») (Čižman, 2004; Alanne, 2004). Model si najlažje predstavimo z nahrbtnikom z omejeno prostornino, v katerega želimo spraviti množico predmetov, ki ima vsak svojo prostornino in svojo vrednost, tako da je skupna vrednost v nahrbtniku kar največja. Podobno imamo pri sanaciji obravnavane skupine nadvozov finančno omejitev 10 milijonov evrov, v okviru katere moramo izvesti omejeno število sanacij tako, da bo skupna vrednost sanacij kar največja. Produkt vektorja koristi ($\mathbf{Y} = Y_i$ ($i = 1 \dots 27$)) in odločitvenega vektorja ($\mathbf{a} = a_i$ ($i = 1 \dots 27$)) nam da skupno korist celotnega omrežja nadvozov, ki jo bomo označevali z Y_{SK} . Pri tem velja naslednja zveza:

$$Y_{SK} = [\mathbf{Y}]^T * \mathbf{a} = [\mathbf{I} * \mathbf{w}]^T * \mathbf{a} \quad (44)$$

Komponente odločitvenega vektorja so odločitvene spremenljivke ($a_1 \dots a_{27}$), za katere velja:

$a_i = 1$, če je sanacija nadvoza i izbrana;

$a_i = 0$, če sanacija nadvoza i ni izbrana;

$i = 1 \dots 27$.

Teoretično je torej možnih 2^{27} rešitev tega vektorja. Rešitev poiščemo tako, da generiramo različne variante odločitvenega vektorja dokler ne dosežemo maksimalne skupne koristi ob finančni omejitvi 10 milijonov evrov. Algoritem za izvedbo takšnega iteracijskega postopka je vgrajen v funkcijo SOLVER programske opreme MS Excel.

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

Vez: Dejanski stroški sanacij, ki so odvisni od odločitvenega vektorja, ne smejo presežati finančne omejitve ($\sum SON \leq 10E6 \text{ €}$)

Odločitveni vektor ($a_1 \dots a_{27}$); tu je definirano generično območje odločitvenega vektorja

Skupna koristnost, ki jo želimo maksimizirati

Solver Parameters

Set Target Cell:

Equal To: Max Min Value of:

By Changing Cells:

Subject to the Constraints:

-
-

Solve

Close

Options

Reset All

Help

Add

Change

Delete

Guess

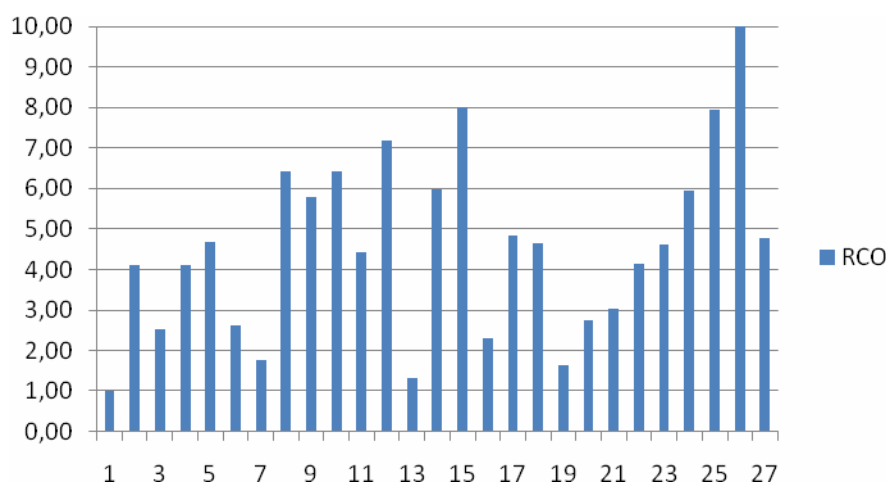
Slika 45: Programsko okolje Solver

6.3.2.3 Rezultati glede na posamezne parametre (kriterije)

V tem razdelku si bomo pogledali rešitve odločanja glede na posamezne kriterije (parametre) na osnovi metode nahrbtnika. Pravzaprav gre za parametrično študijo računskega modela odločanja, ki smo ga definirali v predhodnem razdelku. Torej bodo rešitve odločanja različni odločitveni vektorji. Študijo bomo izvršili za 5 vnaprej podanih kriterijev (RCO, SN, Z, IS, SON), katerih kazalniki so prikazani s stolpičnimi diagrami na spodnjih slikah (slika 46 – slika 50). Namen te parametrične študije je ugotoviti vpliv posameznih kriterijev na odločitev. Za vsak kriterij bomo določili odločitveni vektor za štiri opcije (A, B, C, D) glede na upoštevanje združevanja sanacij in indirektnih stroškov ter vse skupaj zapisali v poenotene preglednice (preglednica 17 - preglednica 21).

I. Izbira nabora nadvozov, ki se jih bo obnovilo glede na rating celotnega objekta (RCO)

| | RCO | SN | Z | IS | SON |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Uteži kriterijev | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 |



Slika 46: Kazalniki nadvozov za kriterij RCO

Preglednica 17: Rezultati odločanja za kriterij RCO

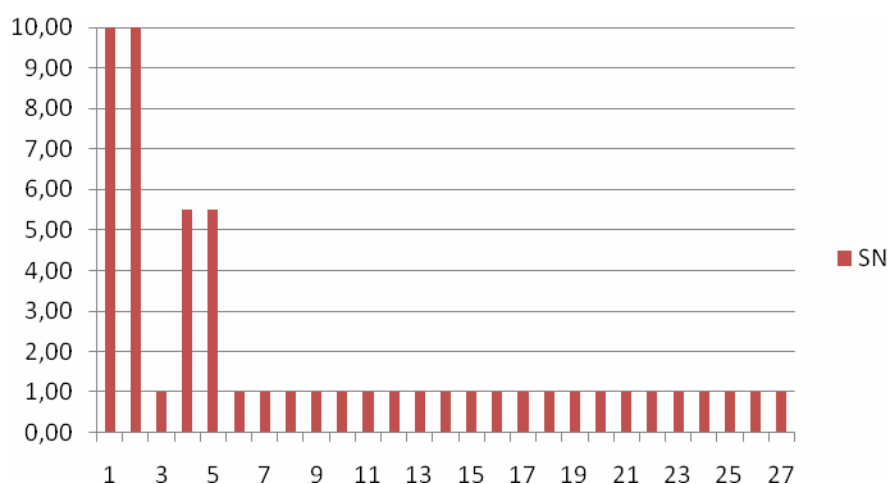
| Variante | | A | B | C | D |
|-----------------------|---------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Indirektnih stroški | | NE | NE | DA | DA |
| Združevanje | | NE | DA | NE | DA |
| Finančna omejitve [€] | | 10E6 | 10E6 | 10E6 | 10E6 |
| | Šifra objekta | Odločitveni vektor A | Odločitveni vektor B | Odločitveni vektor C | Odločitveni vektor D |
| 1 | VA0055 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2 | VA0056 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 3 | VA0057 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 4 | VA0058 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 5 | VA0061 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 6 | VA0062 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 7 | VA0066 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 8 | VA0069 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 9 | VA0071 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 10 | VA0074 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 11 | VA0075 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 12 | VA0077 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 13 | VA0079 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 14 | VA0082 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 15 | VA0083 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 16 | VA0092 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 17 | VA0098 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 18 | VA0099 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 19 | VA0101 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 20 | VA0102 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 21 | VA0106 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 22 | VA0109 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 23 | VA0110 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 24 | VA0112 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 25 | VA0113 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 26 | VA0116 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 27 | VA0119 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| Σ | | 23 | 22 | 14 | 15 |
| Y_{SK} | | 110,16 | 113,92 | 81,93 | 87,18 |
| $\Sigma SON [€]$ | | 9.987.069 | 9.952.827 | 9.882.102 | 9.987.552 |

Komentar: Dobljeni rezultati (preglednica 17) kažejo, da je ob dani skupni finančni omejitvi rešitev odvisna od tega, ali upoštevamo možnost združitve obnov oz. možnost

skupne zapore. Če omogočimo združevanje sanacij nadvozov, je skupna korist večja, čeprav je lahko skupno število izbranih objektov manjše (za 1 objekt) (primerjava variant A in B). Rezultatov, dobljenih z in brez upoštevanja indirektnih stroškov, direktno ne moremo primerjati, saj zaradi relativno visokih indirektnih stroškov, v primeru upoštevanja le-teh, dosežemo precej manjšo korist ter manjši nabor izbranih nadvozov.

II. Izbira nabora nadvozov, ki se jih bo obnovilo glede na starost nadvozov (SN)

| | RCO | SN | Z | IS | SON |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Uteži kriterijev | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 |



Slika 47: Kazalniki nadvozov za kriterij SN

Preglednica 18: Rezultati odločanja za kriterij SN

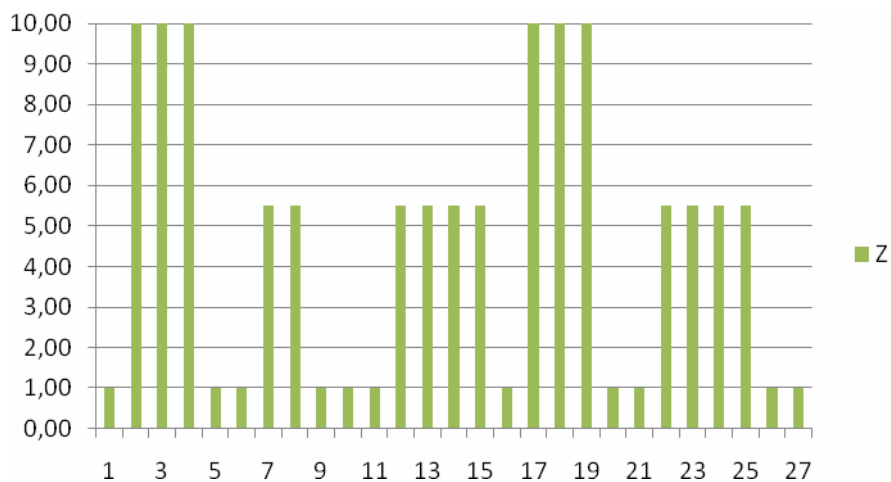
| Variante | | A | B | C | D |
|------------------------|---------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Indirektnih stroški | | NE | NE | DA | DA |
| Združevanje | | NE | DA | NE | DA |
| Finančna omejitvev [€] | | 10E6 | 10E6 | 10E6 | 10E6 |
| | Šifra objekta | Odločitveni vektor A | Odločitveni vektor B | Odločitveni vektor C | Odločitveni vektor D |
| 1 | VA0055 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | VA0056 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 3 | VA0057 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 4 | VA0058 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | VA0061 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 6 | VA0062 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 7 | VA0066 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 8 | VA0069 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 9 | VA0071 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 10 | VA0074 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 11 | VA0075 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | VA0077 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 13 | VA0079 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 14 | VA0082 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 15 | VA0083 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 16 | VA0092 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 17 | VA0098 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 18 | VA0099 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 19 | VA0101 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 20 | VA0102 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 21 | VA0106 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 22 | VA0109 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 23 | VA0110 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 24 | VA0112 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 25 | VA0113 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | VA0116 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 27 | VA0119 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| Σ | | 24 | 25 | 15 | 16 |
| Y_{SK} | | 51,00 | 52,00 | 42,00 | 43,00 |
| $\Sigma SON [€]$ | | 9.878.386 | 9.930.095 | 9.869.796 | 9.893.062 |

Komentar: Čeprav sta kriterija RCO in SN v splošnem nekoliko odvisna, je v primeru skupine nadvozov njuna odvisnost šibka. Tako ima npr. nadvoz 26 največji rating, čeprav

spada v skupino mlajših objektov tega vzorca. Zaradi tega dobljeni rezultati kriterija SN niso podobni rezultatom kriterija RCO.

III. Izbira nabora nadvozov, ki se jih bo obnovilo glede na združevanje (Z)

| | RCO | SN | Z | IS | SON |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Uteži kriterijev | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 |



Slika 48: Kazalniki nadvozov za kriterij Z

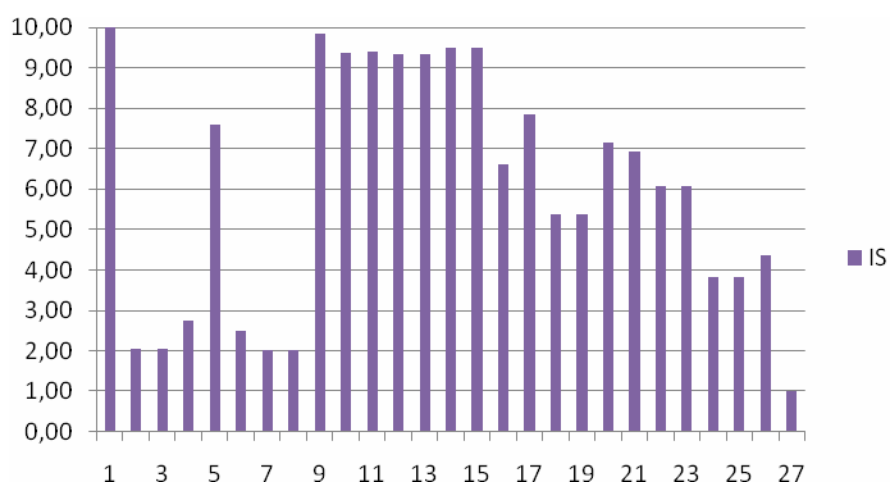
Preglednica 19: Rezultati odločanja za kriterij Z

| Variante | | A | B | C | D |
|-----------------------|---------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Indirektnih stroški | | NE | NE | DA | DA |
| Združevanje | | NE | DA | NE | DA |
| Finančna omejitev [€] | | 10E6 | 10E6 | 10E6 | 10E6 |
| | Šifra objekta | Odločitveni vektor A | Odločitveni vektor B | Odločitveni vektor C | Odločitveni vektor D |
| 1 | VA0055 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 2 | VA0056 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 3 | VA0057 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 4 | VA0058 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | VA0061 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 6 | VA0062 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 7 | VA0066 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 8 | VA0069 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 9 | VA0071 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 10 | VA0074 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 11 | VA0075 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | VA0077 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 13 | VA0079 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 14 | VA0082 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 15 | VA0083 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 16 | VA0092 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 17 | VA0098 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 18 | VA0099 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 19 | VA0101 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 20 | VA0102 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 21 | VA0106 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 22 | VA0109 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 23 | VA0110 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 24 | VA0112 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 25 | VA0113 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 26 | VA0116 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 27 | VA0119 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Σ | | 21 | 23 | 14 | 17 |
| Y_{SK} | | 120,00 | 122,00 | 99,50 | 116,00 |
| $\Sigma SON [€]$ | | 9.956.489 | 9.755.317 | 9.996.465 | 9.862.051 |

Komentar: Če upoštevamo možnost združevanja sanacij več objektov kot edini kriterij, so vedno izbrane skupine nadvozov, katerih obnove je možno združiti, oz. ki imajo skupne zapore.

IV. Izbira nabora nadvozov, ki se jih bo obnovilo glede na indirektne stroške (IS)

| | RCO | SN | Z | IS | SON |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Uteži kriterijev | 0 | 0 | 0 | 1 | 0 |



Slika 49: Kazalniki nadvozov za kriterij IS

Preglednica 20: Rezultati odločanja za kriterij IS

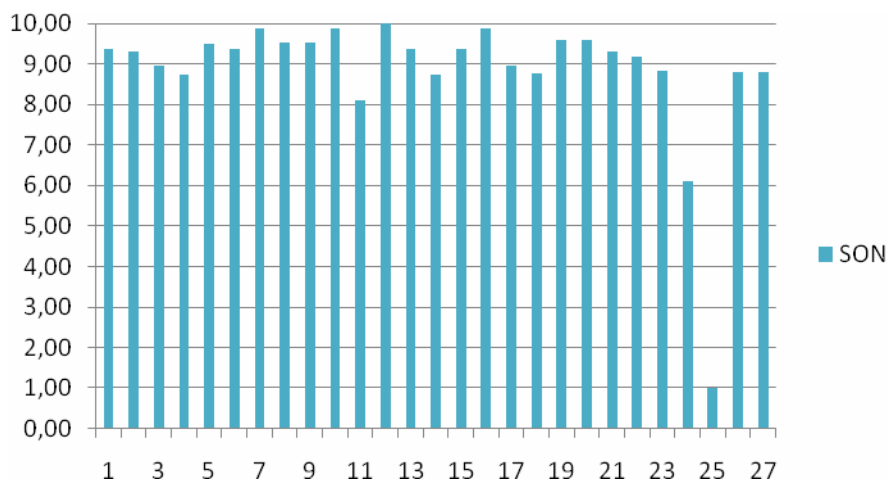
| Variante | | A | B | C | D |
|-----------------------|---------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Indirektnih stroški | | NE | NE | DA | DA |
| Združevanje | | NE | DA | NE | DA |
| Finančna omejitev [€] | | 10E6 | 10E6 | 10E6 | 10E6 |
| | Šifra objekta | Odločitveni vektor A | Odločitveni vektor B | Odločitveni vektor C | Odločitveni vektor D |
| 1 | VA0055 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | VA0056 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 3 | VA0057 | 1 | 0 | 0 | 0 |
| 4 | VA0058 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 5 | VA0061 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 6 | VA0062 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 7 | VA0066 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 8 | VA0069 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 9 | VA0071 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 10 | VA0074 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 11 | VA0075 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 12 | VA0077 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 13 | VA0079 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 14 | VA0082 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 15 | VA0083 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 16 | VA0092 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 17 | VA0098 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 18 | VA0099 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 19 | VA0101 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 20 | VA0102 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 21 | VA0106 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 22 | VA0109 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 23 | VA0110 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 24 | VA0112 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 25 | VA0113 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | VA0116 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 27 | VA0119 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| Σ | | 24 | 24 | 15 | 16 |
| Y_{SK} | | 153,11 | 154,89 | 124,62 | 128,97 |
| $\Sigma SON [€]$ | | 9.964.805 | 9.695.530 | 9.781.685 | 9.886.645 |

Komentar: Indirektni stroški so vezani predvsem na povprečni letni dnevni promet (PLDP) ter dolžino zapore (DZ). Ker so razlike za posamezne nadvoze v povprečnem

letnem dnevnem prometu majhne, je izbor nadvozov v tem primeru odvisen predvsem od dolžine zapor, ki se gibljejo od 2 do 2,7 km. Rezultati glede na kriterij Z in IS si niso podobni, kar pomeni, da je odvisnost med kriterijema v tem primeru šibka. To se pozna tudi na slabšem odzivu skupne koristi v primeru možnosti združevanja sanacij (primerjava variant C in D).

V. Izbira nabora nadvozov, ki se jih bo obnovilo glede na stroške obnove nadvoza (SON)

| | RCO | SN | Z | IS | SON |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
| Uteži kriterijev | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 |



Slika 50: Kazalniki nadvozov za SON

Preglednica 21: Rezultati odločanja za kriterij SON

| Variante | | A | B | C | D |
|-----------------------|---------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Indirektnih stroški | | NE | NE | DA | DA |
| Združevanje | | NE | DA | NE | DA |
| Finančna omejitve [€] | | 10E6 | 10E6 | 10E6 | 10E6 |
| | Šifra objekta | Odločitveni vektor A | Odločitveni vektor B | Odločitveni vektor C | Odločitveni vektor D |
| 1 | VA0055 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 2 | VA0056 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 3 | VA0057 | 1 | 1 | 1 | 0 |
| 4 | VA0058 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 5 | VA0061 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 6 | VA0062 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 7 | VA0066 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 8 | VA0069 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 9 | VA0071 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 10 | VA0074 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 11 | VA0075 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 12 | VA0077 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 13 | VA0079 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 14 | VA0082 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 15 | VA0083 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 16 | VA0092 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 17 | VA0098 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 18 | VA0099 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 19 | VA0101 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 20 | VA0102 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 21 | VA0106 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 22 | VA0109 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 23 | VA0110 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 24 | VA0112 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 25 | VA0113 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | VA0116 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 27 | VA0119 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Σ | | 24 | 25 | 15 | 16 |
| Y_{SK} | | 223,23 | 229,33 | 142,51 | 150,93 |
| Σ SON [€] | | 9.878.386 | 9.930.095 | 9.901.164 | 9.362.065 |

Komentar: Pomen tega kriterija se odraža zlasti v primerih, ko želimo z omejeno finančno vsoto storiti čim več. Pri tem se ne oziramo na ostale kriterije, temveč zgolj na ceno

intervencij. Pri tem se na skupno korist dovolj dobro odziva tudi možnost združevanja sanacij objektov.

6.3.2.4 Rezultati večparametrskega odločanja

Do sedaj smo obravnavali odločitve, ki so bile odvisne od enega samega kriterija (parametra). Na takšen način lahko zajamemo vse bistvene značilnosti, ki jih opredeljuje določen kriterij, vendar pri odločitvah, s katerimi se srečujemo na področju cestne infrastrukture, ponavadi nastopa več kriterijev hkrati (večkriterialno odločanje). Poglejmo si še primer, kjer natopa vseh 5 kriterijev, ki smo jih obravnavali zgoraj. Predno lahko podamo rešitev odločanja, moramo za posamezne kriterije določiti ustrezne uteži, ki določajo vpliv posameznih kriterijev. Pomagali si bomo z metodo AHP, ki je natančneje opisana v točki 6.2.4. Dimenzija primerjalne matrike, ki jo sestavljamo, je 5 ($n = 5$), zato moramo med posameznimi kriteriji podati 10 $((5^2 - 5)/2)$ neodvisnih preferenčnih relacij (45), s katerimi želimo kar najbolje zajeti dejansko stanje. Preferenčne relacije za skupino nadvozov so bile določene s pomočjo strokovnjakov na področju vzdrževanja (Marc, 2007).

Preglednica 22: Preferenčne relacije kriterijev

| | Preferenčna relacija | |
|------------|-------------------------|------------|
| RCO | 9 | SN |
| RCO | 7 | Z |
| RCO | 9 | IS |
| RCO | 7 | SON |
| SN | 0,5 | Z |
| SN | 1 | IS |
| SN | 0,5 | SON |
| Z | 2 | IS |
| Z | 1 | SON |
| IS | 0,5 | SON |

(45)

Tvorimo primerjalno matriko dimenzije 5 (n = 5):

Preglednica 23: Primerjalna matrika izbranih kriterijev

| | RCO | SN | Z | IS | SON |
|-----|------|------|------|------|------|
| RCO | 1,00 | 9,00 | 7,00 | 9,00 | 7,00 |
| SN | 0,11 | 1,00 | 0,50 | 1,00 | 0,50 |
| Z | 0,14 | 2,00 | 1,00 | 2,00 | 1,00 |
| IS | 0,11 | 1,00 | 0,50 | 1,00 | 0,50 |
| SON | 0,14 | 2,00 | 1,00 | 2,00 | 1,00 |

(46)

Iz primerjalne matrike dobimo prioritetni vektor \mathbf{v} , katerega komponente predstavljajo uteži posameznih kriterijev:

$$\mathbf{v} = \{0,653; 0,061; 0,112; 0,061; 0,112\} \quad (47)$$

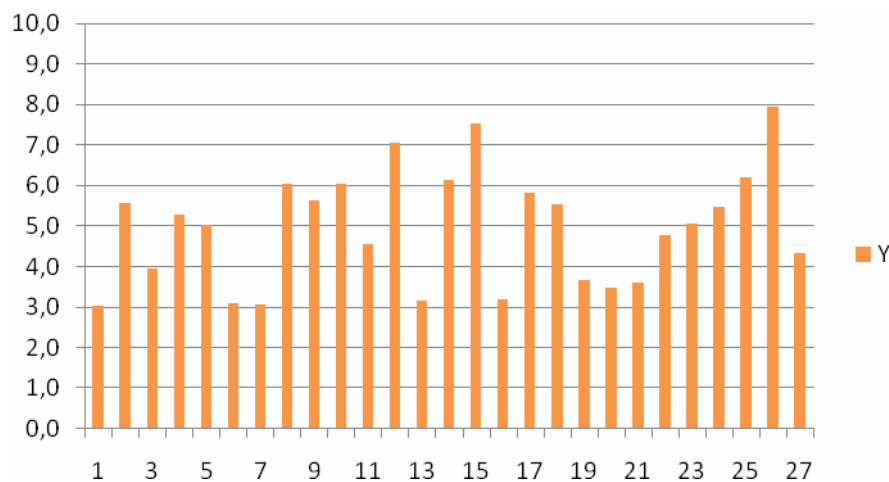
Razmerje I/I_R za dano primerjalno matriko, katerega potek izračuna je podan v razdelku 6.2.4, je:

$$I/I_R = 7,0\% < 10\%, \quad (48)$$

kar pomeni, da je primerjalna matrika dovolj dobro usklajena in da lahko uteži uporabimo pri nadaljnjem odločanju.

Večkriterialno (večparametrsko) odločanje:

| | RCO | SN | Z | IS | SON |
|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| Uteži kriterijev | 0,653 | 0,061 | 0,112 | 0,061 | 0,112 |



Slika 51: Koristi 5-kriterialnega odločanja za posamezne nadvoze

Preglednica 24: Rezultati 5-kriterialnega odločanja

| Variante | | A | B | C | D |
|-----------------------|---------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Indirektnih stroški | | NE | NE | DA | DA |
| Združevanje | | NE | DA | NE | DA |
| Finančna omejitve [€] | | 10E6 | 10E6 | 10E6 | 10E6 |
| | Šifra objekta | Odločitveni vektor A | Odločitveni vektor B | Odločitveni vektor C | Odločitveni vektor D |
| 1 | VA0055 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 2 | VA0056 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 3 | VA0057 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 4 | VA0058 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 5 | VA0061 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 6 | VA0062 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 7 | VA0066 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 8 | VA0069 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 9 | VA0071 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 10 | VA0074 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 11 | VA0075 | 0 | 1 | 0 | 0 |
| 12 | VA0077 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 13 | VA0079 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 14 | VA0082 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 15 | VA0083 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 16 | VA0092 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 17 | VA0098 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 18 | VA0099 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 19 | VA0101 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 20 | VA0102 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| 21 | VA0106 | 1 | 1 | 0 | 1 |
| 22 | VA0109 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 23 | VA0110 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 24 | VA0112 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 25 | VA0113 | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 26 | VA0116 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| 27 | VA0119 | 1 | 1 | 0 | 0 |
| Σ | | 24 | 25 | 14 | 16 |
| ΣSY | | 118,04 | 122,57 | 83,48 | 90,73 |
| $\Sigma SON [€]$ | | 9.878.250 | 9.684.086 | 9.879.808 | 9.444.498 |

Komentar: Rezultati, ki smo jih dobili v prejšnjih razdelkih, so sicer realni, vendar pa med seboj neprimerljivi, ker vemo, da posamezni kriteriji nimajo enakega pomena pri odločanju. V

tem razdelku pa smo posamezne kriterije utežili glede na realne razmere v odločanju. V primerjavi z izbori glede na posamezne kriterije v prejšnjih razdelkih dobimo v tem primeru bogat nabor, kar pomeni, da izbrane uteži kriterijev dobro rezultirajo k skupni koristi.

Rezultati v preglednici 24 nam kažejo, da odločitveni vektorji do določene mere dobro sledijo koristim posameznih nadvozov, vendar objekti z relativno visokimi koristmi včasih niso izbrani (varianta A, nadvoz 24, nadvoz 25, preglednica 24). Vzrok so relativno visoki stroški obnove. V tem primeru lahko dvignemo skupno korist z izborom več, a cenejših variant. Združevanje sanacij nadvozov v tem primeru prinese ob enakih finančnih omejitvah večjo korist kot tudi večji nabor posameznih objektov (varianta A – varianta D, preglednica 24).

7. Zaključki naloge

Upravljanje obstoječe cestne infrastrukture postaja vse bolj pomembna dejavnost tudi v Sloveniji. Čeprav ima naša država dokaj mlado cestno infrastrukturo, lahko v zadnjih letih opazimo, da so potrebe po vzdrževanju iz leta v leto večje. To velja tudi za avtocestno omrežje, ki sicer spada med najmlajše cestno omrežje pri nas. Vsaka dograjena infrastruktura je izpostavljena procesom propadanja, kar pomeni, da se njena vrednost s časom zmanjšuje. Temu pojavu se v celoti ni moč izogniti, lahko pa s pravilnim ravnanjem poskrbimo, da vrednost vloženega kapitala ne bo upadala prehitro. Če želimo gospodarstvu pa tudi celotni družbi zagotoviti nivo storitve, ki bo omogočala skladen gospodarski in družbeni razvoj, je skrbno dolgoročno gospodarjenje s tem velikim javnim premoženjem torej nujno.

Zato moramo v prvi vrsti poskrbeti za natančen popis celotnega imetja. Četudi že imamo vse potrebne podatke o imetju, nam ti nič ne koristijo, če ležijo v težko dostopnih arhivih. Izkoristiti moramo možnosti današnjega časa in podatke sistematično shraniti v ustrezno strukturirane zbirke podatkov. Vanjo sodijo poleg podatkov iz popisa imetja še drugi podatki, pridobljeni zlasti na podlagi pregledov objektov, akumuliranega znanja in izkušenj. Pri tem je pomembno, da so shranjeni podatki primerljivi. Tako bi naprimer določena ocena stanja morala biti primerljiva za različne vrste objektov, za različne tipe konstrukcij ter različne materiale. Zaenkrat vsega še nismo poenotili, zato je na tem področju odprtih še veliko možnosti za izboljšave. Dokler so podatki sami sebi namen, so le podatki. Šele tisti podatki, ki jih v dani situaciji potrebujemo, postanejo informacije. Potrebe po informacijah se povečajo zlasti takrat, ko so upravljavci cestnih objektov postavljeni pred nove odločitve. Za lažje iskanje in obdelavo podatkov oziroma informacij skrbijo informacijski sistemi (»*database management system*« - DBMS). Ti namreč združujejo bazo podatkov in orodja za iskanje informacij, lahko pa tudi dodatne module za podporo odločanju ter modeliranje propadanja objektov. S pomočjo takšnega informacijskega sistema lahko lažje izberemo potrebne intervencijske ukrepe (vzdrževanje, popravilo, obnova, zamenjava objektov) ter razvrstimo obravnavane objekte glede na njihovo upravičenost do intervencij. Pomembna je tudi kakovost same izvedbe intervencij, ki sicer ni predmet tega diplomskega dela.

V svojem delu sem se osredotočil na skupino 27 nadvozov nad izbranim avtocestnim odsekom ter na podlagi tega vzorca poskušal izluščiti glavne probleme, ki se pojavljajo na

tem področju. Nadvoze na terenu sem si ogledal tudi sam. Vsi nadvozi so stari nekaj čez 30 let in spadajo med najstarejše avtocestne objekte pri nas. Vzorec 27 objektov je dovolj reprezentativen, da lahko ugotovitve posplošimo tudi za mlajše nadvoze in druge podobne objekte. Takšno posplošitev opravičuje tudi dejstvo, da srečujemo na nadvozih značilne poškodbe. Iz poškodbe, ki je zastopana na večini objektov, lahko namreč izluščimo vzrok njenega nastanka. Takšno posploševanje ni samo pomembno pri napovedovanju stanja mlajših objektov, temveč bi se morala povratna informacija o poškodbah dotakniti tudi projektanta in izvajalca. Na podlagi lastnih opažanj lahko rečemo, da je pri vseh nadvozih najbolj kritično cestišče ter oprema nadvozov. Eno in drugo sicer zelo malo vpliva na trenutno stanje nadvoza, zavedati pa se moramo, da lahko naprimer razpokano cestišče, zablaten jašek itd. dolgoročno gledano pospeši propadanje celotnega objekta. Zelo očitna poškodba, ki se pojavlja pri nadvozih, je tudi močno korodirana zaščitna ograja. Obnova cestišča in opreme nadvoza spada med tiste investicije, ki so v primerjavi s celotno obnovo nadvoza relativno poceni, lahko pa ogromno pripomorejo k celotni kakovosti objekta, da o varnosti uporabnikov niti ne govorimo. Reševanje teh težav ne bi smelo biti problematično, če tega ne bi preprečevale nekoliko nerodno razdeljene koncesijske pravice. Glavni problem, ki sem ga opazil pri nadvozih, je ravno v tem, da agencija DARS s temi objekti ne upravlja v celoti. Opisano stanje ne more v celoti zagotoviti učinkovitosti in varnosti, zato sodim, da bi bilo primerno vpeljati takšno formalno razdelitev pristojnosti, odgovornosti ter pripadajočih finančnih sredstev, da bi DARS-u dovoljevala celotno upravljanje avtocestnih nadvozov, katerih stanje oz. stopnja poškodovanosti lahko vpliva tudi na stanje in prometno varnost avtocest.

V diplomski nalogi sem obravnaval tri elemente, ki so ključni pri vzpostavljanju učinkovitega celostnega sistema za upravljanje z infrastrukturnimi objekti. Pri tem sem se omejil na premostitvene objekte. Ocenjevanje stanja teh objektov, ki temelji na podlagi sistematičnega pregledovanja, je ključen začetni element sistema. Pri pregledovanju in ocenjevanju je potrebno uporabiti jasno metodologijo dela, ki naj v kar največji meri eliminira vplive subjektivne presoje pregledovalcev oziroma ocenjevalcev objektov. Na tem področju obstajajo programska orodja za zajem podatkov, ki pa jih je možno še dodatno izboljšati.

Drugi ključni element sistema upravljanja z infrastrukturnimi objekti je strukturirana zbirka podatkov, zato sem za obravnavano skupino nadvozov izdelal prototipno zbirko podatkov s

pomočjo računalniškega orodja MS Access. Izkazalo se je, da je tu zelo pomembna arhitektura zbirke, ki zagotavlja njeno ekonomičnost in funkcionalnost. Razen tega pa dobra arhitektura omogoča tudi intuitivno uporabo baze, kar uporabniku olajša delo in ga hkrati tudi usmerja.

O planiranih ukrepih lahko odločamo le na podlagi popolnih informacij, ki jih lahko pridobimo iz ustrezno urejenih zbirk podatkov. Zato sem v zadnjem delu naloge predstavil večparametrski model odločanja. Sama zasnova računskega modela (kriteriji (parametri), kazalniki kriterijev (parametrov), funkcija koristi) nadgrajuje teoretične usmeritve iz razpoložljive literature z dodatnimi kriteriji. Dobljeni rezultati kažejo, da je odločanje s pomočjo izdelanega modela učinkovito. Glavni problem, ki nastane pri analizi možnih alternativ, se nanaša na določanje uteži posameznih kriterijev, ki so v rokah odločevalcev in zato potencialno subjektivne. Za odpravo teh pomanjkljivosti si lahko pomagamo na primer z metodo AHP, ki smo jo uporabili tudi v diplomski nalogi. Kljub vsemu se subjektivnosti povsem ne moremo znebiti. Drugače rečeno, paziti moramo, da ne dobivamo takšnih rezultatov, kot jih vnaprej želimo. Torej so pri odločanju problematični vhodni podatki, kar je pravzaprav značilno za večino računalniških orodij. Ob pozorni analizi rezultatov pa lahko vseeno hitro ugotovimo, kateri so tisti parametri, ki v določenih primerih lahko pomenijo nujnost ukrepa (bodisi kriterij najslabšega elementa, ki ga je potrebno interventno zamenjati, ali pa stanje objekta kot celote, če nas zanima celovita obnova).

Z delom, opravljenim v okviru diplomske naloge, sem dokazal, da se da oblikovati programsko orodje, ki ob primerno urejeni bazi podatkov in ob postavitvi smiselnih kriterijev za odločanje lahko učinkovito pomaga upravljavcem pri planiranju obnov objektov. To izkazuje tretji del diplomske naloge, v katerem sem s pomočjo modela odločanja za obravnavani vzorec nadvozov izbral nabor objektov oz. pripadajočih intervencijskih projektov, ki rezultirajo v največjo možno korist. Seveda bi bilo za splošno uporabo takšnega sistema potrebno stvari dodatno razširiti na vse cestne objekte, kajti v diplomski nalogi sem obravnaval zgolj omejen vzorec avtocestnih nadvozov. Razen tega je bil v primeru nadvozov osnovni element odločanja kar celoten nadvoz. Za natančnejše odločanje bi bilo torej smotno za osnovne elemente odločanja uporabiti manjše samostojne enote cestnih objektov (npr. spodnja konstrukcija, prekladna konstrukcija, cestišče, oprema objekta). Za 27 nadvozov bi v tem primeru dobili 108 (27×4) odločitvenih variant. Takšen odločitveni model bi bil dovolj

občutljiv tudi za tiste dele objektov, ki sicer malo vplivajo na trenutno stanje objekta (cestišče, oprema objekta). Zaradi tega bi bile odločitve tudi bolj smotrne oz. ekonomične, kar pomeni, da bi lahko tudi z manjšimi sredstvi precej naredili.

Drugo področje, kamor je potrebno usmeriti nadaljnji razvoj uspešnosti gospodarjenja s cestno infrastrukturo, pa je izdelava integriranega sistema z vsemi podatki ter drugimi orodji za učinkovito upravljanje.

VIRI IN LITERATURA

Al-dughaiter K. 2006. A multi-criteria decision making model for contractors pre-qualification. V: Rivard, H. (ur.). *Building on IT : Conference Proceedings, 14.-16. junij 2006*, Montreal, Canada, 1122-1133.

Alanne K. 2004. Selection of renovation actions using multi-criteria »knapcack« model. *Automation in Construction* 13. 377 – 391.

Bevc Lojze, Terčelj Stane, Peruš Iztok, Žnidarič Jaš, Capuder Franc, Srpčič Jelena, Sheppard Peter. 1994. Analiza računalniško obdelanih podatkov o poškodbah mostov. Ljubljana. Zavod za raziskavo materialov in konstrukcij.

Bi Guiping, Ruan Xin. 2006. Operation and Maintenance Plan of Donghai Bridge. V: Vincentsen L.J. in Larsen E.S. (ur.). *Operation, Maintenance and Rehabilitation of Large Infrastructure Projects, Bridges and Tunnels: IABSE Conference Proceedings, 15.-17. maj 2006*, , Kopenhagen, Danska. Paper No. 67.

COST 345. 2002. <http://cost345.zag.si/> (26. 3. 2007).

Čizman Anton. 2004. Operacijske raziskave. Teorija in uporaba v organizaciji. Kranj. Univerza v Mariboru. Fakulteta za organizacijske vede.

Družba za avtoceste v republiki Sloveniji (DARS d.d.). 2007.

Direkcija republike Slovenije za ceste (DRSC). Ministrstvo za promet. <http://www.dc.gov.si/si/promet/> (26. 3. 2007).

Direkcija republike Slovenije za ceste (DRSC). Ministrstvo za promet. <http://www.dc.gov.si/si/ceste/> (26. 3. 2007).

Elbehairy H., Hegazy T., Soudki K. 2006. Bridge management system with practical work zone planning. V: Rivard, H. (ur.). *Building on IT : Conference Proceedings, 14.-16. junij 2006*, Montreal, Canada, 368-377.

Furlan Štefan. 2006. Vega – orodje za razvoj inteligentnih sistemov. Diplomsko delo. Ljubljana. Univerza v Ljubljani. Fakulteta za računalništvo in informatiko.

Hallberg D., Racutanu G. 2007. Development of the Swedish bridge management system by introducing a LMS concept. *Materials and Structures*. 40 (6). 627-639.

Hegazy, T. 2006. Computerized system for efficient delivery of infrastructure maintenance/repair programs. *ASCE J.of Construction Engineering and Management*, 132(1). 26-34.

Jamnik R. 1987. Verjetnostni račun. Ljubljana. DMFA.

Jereb Eva, Bohanec Marko, Rajkovič Vladislav. 2003. Računalniški program za večparametrsko odločanje. Uporabniški priročnik. Kranj. Univerza v Mariboru. Fakulteta za organizacijske vede.

Langevine R., Allouche M., AbouRizk S.. 2006. Decision support tool for the maintenance management of buildings. V: Rivard, H. (ur.). *Building on IT : Conference Proceedings, 14.-16. junij 2006*, Montreal, Canada. 2292-2301.

Marc Ksenija. 2006. Premostitveni objekti na slovenskih avtocestah. Lipica. Konferenca vzdrževanje, zaščita in popravila betonskih konstrukcij. ZBS, 9. – 10. marec.

Marc Ksenija. 2006. Osebna komunikacija.

Mendonca P. T., Vieira R. A., Paulo P. P., Brito R. V. 2006. Bridge management system – GOA. V: Vincentsen L.J. in Larsen E.S. (ur.). *Operation, Maintenance and Rehabilitation of Large Infrastructure Projects, Bridges and Tunnels: IABSE Conference Proceedings, 15.-17. maj 2006*, Kopenhagen, Danska. Paper No.70.

Mrvar Andrej. <http://mrvar.fdv.uni-lj.si/sola/info2/saaty/saaty.pdf> (26. 3. 2007). Ljubljana. Univerza v Ljubljani. Fakulteta za družbene vede.

Morcous George, Lounis Zoubir. 2006. Integration of stochastic deterioration models with multicriteria decision theory for optimizing maintenance of bridge decks. *Canadian Journal of Civil Engineering* 33. 756 – 765.

Miyamoto A. 2006. Practical Maintenance Strategies for Bridge Network. V: Vincentsen L.J. in Larsen E.S. (ur.). *Operation, Maintenance and Rehabilitation of Large Infrastructure Projects, Bridges and Tunnels: IABSE Conference Proceedings, 15.-17. maj 2006*, Kopenhagen, Danska. Paper No.52.

Organisation for economic co-operation and development. 1992

Saaty L. T. 1988. Multi criteria decision making: the analytical hierarchy process. Pittsburgh, PA, Univ.of Pittsburgh Press, ZDA.

Singh Ahluwalia S., Hegazy T. 2006. Pictorial database for building diagnosis. V: Rivard, H. (ur.). *Building on IT : Conference Proceedings, 14.-16. junij 2006*, Montreal, Canada, 358-367.

Sprague, Carlson. 1982. Wikipedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Decision_support_system/ (26. 3. 2007).

Haag. 2000. Wikipedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Decision_support_system/ (26. 3. 2007).

Statistični urad republike Slovenije (SURS). 2007.

http://www.stat.si/novica_prikazi.aspx?ID=766 (26. 3. 2007).

Uranjek Mojmir. 2006. Izvedba glavnih in rednih pregledov in tipične poškodbe premostitvenih objektov. Ljubljana. Seminar podiplomskega študija konstrukcijskega odseka, 1. december. 2006. <http://www.km.fgg.uni-lj.si/PSKS/Aktual.htm> (26.3. 2007).

Vanier J. Dana, 2006. Editorial – decision support systems in infrastructure management. http://www.itcon.org/cgi-bin/works/Show?2006_13 (26. 3. 2007).

Vanier Dana, Tesfamariam Solomon, Sadiq Rehan, Lounis Zoubir. 2006. Decision models to prioritize maintenance and renewal alternatives. V: Rivard, H. (ur.). *Building on IT : Conference Proceedings, 14.-16. junij 2006*, Montreal, Canada, 2594-2604.

Wikipedia. <http://en.wikipedia.org/wiki/Database/> (26. 3. 2007).

Wikipedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Decision_support_system/ (26. 3. 2007).

Wenzel Helmut. 2006. Condition Assessment of Structures based on Decision Support System. Copenhagen. 15-17 maj

Yanev Bojidar. 2006. The bridge projects and networks of New York City. Copenhagen. 15-17 maj

Žnidarič Aleš, Bevc Lojze. 2000. COST 345. Postopki za vrednotenje cestnih konstrukcij. Ljubljana. Zavod za gradbeništvo Slovenije. 5. slovenski kongres o cestah in prometu.

Žnidarič Jaš, Bevc Lojze, Capuder Franc, Marolt Janja, Srpčič Jelena, Terčelj Stane, Žnidarič Aleš, Vojska Jurij. 1991. Vrednotenje varnosti cestnih mostov. Inženirske osnove za računalniško obdelavo poročil o pregledu mostov. Ljubljana. Zavod za raziskavo materialov in konstrukcij.
