

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



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

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

To je izvirna različica zaključnega dela.

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

Brulc, E., 2013. Načrtovanje vzdrževanja in obnove skupine premostitvenih objektov. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentorica Šelih, J.): 69 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



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

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

This is original version of final thesis.

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

Brulc, E., 2013. Načrtovanje vzdrževanja in obnove skupine premostitvenih objektov. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Šelih, J.): 69 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ
GRADBENIŠTVA
KONSTRUKCIJSKA SMER

Kandidat:

ERVIN BRULC

**NAČRTOVANJE VZDRŽEVANJA IN OBNOVE
SKUPINE PREMOSTITVENIH OBJEKTOV**

Diplomska naloga št.: 3361/KS

**MAINTENANCE AND REFURBISHMENT PLANNING
FOR A GROUP OF BRIDGES**

Graduation thesis No.: 3361/KS

Mentorica:

izr. prof. dr. Jana Šelih

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Član komisije:

doc. dr. Mitja Košir

Ljubljana, 23. 12. 2013

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisani Ervin Brulc izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »Načrtovanje vzdrževanja in obnove skupine premostitvenih objektov«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 23. 12. 2013

Ervin Brulc

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	625.7/8:69.059.4(043.2)
Avtor:	Ervin Brulc
Mentor:	izr. prof. dr. Jana Šelih
Naslov:	Načrtovanje vzdrževanja in obnove skupine premostitvenih objektov
Tip dokumenta:	diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	69 str., 27 pregl., 23sl.
Ključne besede:	večkriterijsko odločanje, korist, metoda AHP, nadvozi, propadanje, pregledi, rating

Izvleček

Avtocestni nadvozi so v svoji življenjski dobi izpostavljeni procesu propadanja. Hitrost tega neizogibnega procesa je odvisna od intenzivnosti uporabe, klimatskih vplivov in načinov vzdrževanja. Nivo obnašanja nadvozov se s časom znižuje, če jih ne vzdržujemo in obnavljamo, zato moramo med življenjsko dobo objektov na le-teh izvajati ustrezne ukrepe. Načrtovanje optimalne intervencije celotnega cestnega omrežja je zahtevna naloga, ki je največkrat prepuščena subjektivnim, parcialnim odločitvam upravljalcev, ki morajo poleg stanja objektov pri svojih odločitvah upoštevati tudi finančne omejitve.

V diplomski nalogi smo obravnavali skupino sedemindvajsetih nadvozov na izbranem avtocestnem odseku ter zanj izdelali večkriterijski model za določanje objektov, ki naj imajo pri obnovi prednost. Zbrali smo podatke o stanju nadvozov iz ocen rednih pregledov ter jih ustrezno strukturirali. Identificirali smo ključne kriterije, kot so rating celotnega objekta, starost nadvoza, združevanje sanacij, vpliv indirektnih stroškov, stroške obnove nadvoza in propadanje nadvoza, ki jih je potrebno v odločitvenem modelu upoštevati. Njihovo medsebojno pomembnost smo določili s pomočjo analitičnega hierarhičnega procesa. Na tej podlagi smo izdelali večkriterijski model za izbiro skupine objektov, ki imajo pri sanaciji prednost v primeru, ko je skupni znesek, namenjen za obnovo objektov, omejen. Prednost pri sanaciji ima skupina nadvozov, ki na podlagi izbranih kriterijev in njihovih medsebojnih pomembnosti dosega najvišjo skupno korist. V nalogi nadalje izvedemo analizo vpliva višine finančnih sredstev, ki jih lahko vložimo v obnovo, na izbor objektov in pripadajočo korist, kar lahko olajša sprejem odločitve o skupini objektov s strani odgovornih za odločitve. Rezultati kažejo, da je predlagani model za večkriterijsko odločanje lahko učinkovito orodje za racionalno izbiro skupine objektov, katerih skupna korist je največja, ter analizo možnosti pridobitve dodatne koristi z najmanjšim možnim finančnim vložkom.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	625.7/.8:69.059.4(043.2)
Author:	Ervin Brulc
Supervisor:	assoc. prof. Jana Šelih, Ph. D.
Title:	Maintenance and refurbishment planning for a group of bridges
Document tipe:	Graduation Thesis – University studies
Notes:	69 p., 27tab., 23fig
Key words:	overpass, deterioration, maintenance, refurbishment, corrosion, diffusion, carbonation

Abstract

During the service, highway overpasses are exposed to various deterioration processes. The rate of these unavoidable processes depends on intensity of usage, weather influences and maintenance level. If maintenance works are not planned and executed in an adequate manner, the performance of the structures under consideration reduces. Planning an optimum set of intervention measures on the level of a group of structures is a complex task that is often left to subjective, partial decisions of managers that have to take into account also financial limitations.

A group of 27 highway overpasses, spanning over the highway section under consideration, was analysed. A multi-criteria model for the selection of bridges that should have priority in the refurbishment process was developed. Condition rating data were collected from the periodic check reports and structured appropriately. Key criteria that need to be taken into account were identified: condition rating of the whole structure, age of the pass, possibility of joining the works on a string of passes, indirect cost influence, refurbishment cost for a structure and deterioration rate of the structure. Relative importance among these criteria was determined by using Analytical Hierarchy Method (AHP). On this basis, a multi-criteria model to be used for the selection of a set of structures that have refurbishment priority in the case of limited financial contribution was developed. Refurbishment priority was identified for a group of structures that have, as a whole, a maximum overall benefit with respect to the selected criteria and their relative importance. Further, the analysis of the influence of the financial constraint magnitude upon the selection of structures to be repaired and the accompanying benefits (that can facilitate the decision of the decision-makers' side) was carried out. The obtained results show that the proposed model can serve as an efficient tool used in rational selection of group of structures yielding the maximum overall benefit, and in analysis of possibilities that lead to additional benefit with minimum financial input.

ZAHVALA

Najlepše se zahvaljujem mentorici, izr. prof. dr. Jani Šelih, za uporabne nasvete, gradiva in strokovno pomoč pri izdelavi diplomske naloge. Prav tako se zahvaljujem asist. mag. Mateju Kušarju za izkazano pripravljenost in strokovno podporo.

Rad bi se zahvalil svojim staršema, ki sta mi omogočila študij in me nesebično podpirala na vsakem koraku. Hvala tudi Urbanu in Lidiji, ki sta mi vedno stala ob strani.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA.....	I
IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT.....	IV
ZAHVALA	V
KAZALO VSEBINE	VI
KAZALO SLIK	X
SEZNAM UPORABLJENIH OZNAK.....	XII
1 UVOD	1
1.1 SPLOŠNO	1
1.2 NAMEN DIPLOMSKE NALOGE.....	2
1.3 PREGLED VSEBINE DIPLOMSKE NALOGE	2
2 METODOLOGIJA UPRAVLJANJA OBJEKTOV V OKVIRU CESTNE INFRASTRUKTURE V SLOVENIJI	3
3 PREGLEDI STANJA OBJEKTOV.....	4
3.1 UVOD.....	4
3.2 IZVAJANJE PREGLEDV V SLOVENIJI.....	4
3.3 OPIS PREGLEDV	5
3.4 SLOVENSKA ZAKONODAJA, KI UREJA PODROČJE CEST.....	6
4 OCENJEVANJE STANJA OBJEKTOV	7
4.1 METODOLOGIJA	7
4.2 OSNOVE NUMERIČNEGA OCENJEVANJA.....	8
4.3 PROBLEMATIKA OCENJEVANJA	10
4.4 SKUPINA NADVOZOV NAD IZBRANIM AVTOCESTNIM ODSEKOM	11
4.5 POŠKODBE NADVOZOV.....	13
4.6 MODELIRANJE PROPADANJA OBJEKTA	15
4.7 MARKOVSKI VERIŽNI MODEL PROPADANJA OBJEKTOV	17
5 PROPADANJE ARMIRANEGA BETONA.....	19
5.1 RAZLOGI PROPADANJA ARMIRANEGA BETONA.....	19
5.1.1 Mehanski vplivi	21
5.1.2 Fizikalni vplivi.....	21

5.1.2.1	Vpliv cikličnega zmrzovanja in odtajanja betona.....	21
5.1.2.2	Hidravlični pritisk	22
5.1.2.3	Osmotski pritisk	22
5.1.2.4	Mehanizmi luščenja plasti pod vplivom hidravličnega in osmotskega pritiska	23
5.1.3	Kemični in elektrokemični vplivi	25
5.1.3.1	Korozija cementa	25
5.1.3.2	Korozija armature.....	28
5.1.4	Biološki vplivi	29
6	MODELIRANJE PROPADANJA NADVOZOV	31
7	RAZVOJ ODLOČITVENEGA MODELA.....	32
7.1	KRITERIJ PROPADANJA KOT KLJUČNO SODILO ZA MODEL IZBIRE NADVOZOV.....	32
7.2	DOLOČANJE VRSTNEGA REDA VZDRŽEVALNIH IN OBNOVITVENIH DEL	32
7.3	METODOLOGIJA ODLOČANJA	33
7.4	VEČ PARAMETRSKO DOLOČANJE	33
7.5	RAČUNSKI MODEL DOLOČANJA NA OSNOVI METODE NAHRBTNIKA (»KNAPSACK MODEL«).....	34
7.6	ANALITIČNO HIERARHIČNI PROCES (AHP).....	36
7.7	PRIMER DOLOČANJA RELATIVNE POMEMBNOSTI KRITERIJEV PRI RAZVRŠČANJU AVTOCESTNIH NADVOZOV S POMOČJO METODE AHP	39
7.8	DOLOČANJE VRSTNEGA REDA NADVOZOV	41
7.9	ODLOČANJE Z METODO NAHRBTNIKA	45
7.10	RAČUNSKI POSTOPEK.....	49
8	REZULTATI	51
8.1	REZULTATI PARAMETRIČNE ANALIZE	51
8.1.1	Izbira sanacijskega načrta glede na rating celotnega objekta (RCO).....	51
8.1.2	Izbira sanacijskega načrta glede na starost nadvoza (SN)	53
8.1.3	Izbira sanacijskega načrta glede na združevanje (Z)	54
8.1.4	Izbira sanacijskega načrta glede na višino indirektnih stroškov (IS).....	56
8.1.5	Izbira sanacijskega načrta v odvisnosti od stroškov obnove nadvoza (SON).....	57
8.1.6	Izbira sanacijskega načrta glede na kriterij propadanja (PRO).....	59
8.2	IZBIRA SANACIJSKEGA NAČRTA GLEDE NA VSE IDENTIFICIRANE KRITERIJE	60
8.3	PRIMERJAVA REZULTATOV	63
9	ZAKLJUČKI.....	65
VIRI.....	67

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Kategorije javnih cest v Sloveniji (DRSC, 2013).....	3
Preglednica 2: Povezava kvalitativne in kvantitativne oceno stanja objekta.....	9
Preglednica 3: Največji možen RCO za različne vrste nosilnih elementov	9
Preglednica 4: Največji možen RCO za različne materiale objektov	10
Preglednica 5: Obravnavani nadvozi (Povzeto po Kne, 2007).....	12
Preglednica 6: Vpliv na trajnost betonskih cestnih objektov (Uranjek, 2006)	14
Preglednica 7: Pregled tipičnih poškodb pregledanih nadvozov (Uranjek, 2006)	15
Preglednica 8: Temperaturni intervali, znotraj katerih so posamezne talilne soli na cestiščih učinkovite (Jayapalan, 2007).....	22
Preglednica 9: Slučajni indeks I_R v odvisnosti od dimenzije matrike (Saaty, 1990).....	39
Preglednica 10: Primerjalna matrika A	40
Preglednica 11: Prioritetni vektor normalizirane primerjalne matrike A	40
Preglednica 12: Pomožni produkt za izračun λ_{\max}	40
Preglednica 13: Oznake in vrednosti upoštevane v izračunu	41
Preglednica 14: Vrednosti parametrov odločanja za posamezne nadvoze	43
Preglednica 15: Kazalniki ocen posameznih kriterijev za posamezne nadvoze	44
Preglednica 16: Določitev skupnih stroškov obnove nadvozov v primeru A) neupoštevanja indirektnih stroškov in stroškov združevanja; B) upoštevanja stroškov združevanja; C) upoštevanja indirektnih stroškov in D) upoštevanja stroškov združevanja in indirektnih stroškov.	48
Preglednica 17: Izbira sanacijskih ukrepov pri upoštevanju kriterija RCO (stanje objekta) pri finančni omejitvi 10 mio € \pm 20% (0=nadvoz ni izbran; 1=nadvoz je izbran).....	51
Preglednica 18: Izbira sanacijskih ukrepov pri upoštevanju kriterija SN (starost nadvoza); (0=nadvoz ni izbran; 1=nadvoz je izbran pri finančni omejitvi 10 mio € \pm 20%).....	53
Preglednica 19: Izbira sanacijskih ukrepov pri upoštevanju kriterija Z (združevanje skupine nadvozov) (0=nadvoz ni izbran; 1=nadvoz je izbran pri finančni omejitvi 10 mio € \pm 20%)	54
Preglednica 20: Izbira sanacijskih ukrepov pri upoštevanju kriterija IS (indirektni stroški) (0=nadvoz ni izbran; 1=nadvoz je izbran pri finančni omejitvi 10 mio € \pm 20%).....	56
Preglednica 21: Izbira sanacijskih ukrepov pri upoštevanju kriterija SON (stroški obnove obvoza) (0=nadvoz ni izbran; 1=nadvoz je izbran pri finančni omejitvi 10 mio € \pm 20%)	57
Preglednica 22: Izbira sanacijskih ukrepov pri upoštevanju kriterija PRO (propadanje) (0=nadvoz ni izbran; 1=nadvoz je izbran pri finančni omejitvi 10 mio € \pm 20%).....	59
Preglednica 23: Preferenčne relacije med kriteriji.....	61
Preglednica 24: Primerjalna matrika kriterijev	61
Preglednica 25: Uteži posameznih kriterijev	62
Preglednica 26: Izbira objektov, ki naj bodo sanirani, na osnovi večkriterijske metode za odločanje (0 = kriterij/objekt ni izbran; 1 = kriterij/objekt je izbran).....	62

Preglednica 27: Primerjava rezultatov 5 in 6 kriterijskega odločanja.....63

KAZALO SLIK

Slika 1: Shematski prikaz propadanja pomanjkljivo vzdrževanega, redno vzdrževanega in rehabilitiranega objekta s časom (Uranjek, 2006).	16
Slika 2: Graf diskretnih stanj prehodne matrike	18
Slika 3: Prodiranje kloridov v beton z difuzijo (Žnidarič, 1996)	21
Slika 4: Numerično modeliranje vpliva koncentracije slanice (1, 3, 7 in 12%) na poškodbe zaradi zmrzovanja (Çopuroğlu, 2008)	24
Slika 5: Shematični prikaz cementnega kamna pod vplivom globalne natezne sile in sile zaradi nastanka razpok v ledu (Çopuroğlu, 2008)	24
Slika 6: Vpliv debeline ledenega sloja (1, 3, 5 in 10 mm) na velikost poškodbe betona (Çopuroğlu, 2008)	25
Slika 7: Shematski prikaz elektrokemijske korozije armature v betonu (Žnidarič, 1996)	28
Slika 8: Difuzija klorovih ionov v betonu in nastanek kloridne korozije (Žnidarič, 1996)	29
Slika 9: Shematičen prikaz hitrosti propadanja armiranobetonske konstrukcije	31
Slika 10: Ciklogram iterativnega postopka določanja z metodo nahrbtnika (Povzeto po Kne, 2007)	35
Slika 11: Več parametrski odločitveni model	36
Slika 12: Drevesna struktura niza kriterijev	37
Slika 13: Struktura uporabljenih kriterijev	39
Slika 14: Algoritem funkcije F1	46
Slika 15: Algoritem funkcije F2	46
Slika 16: Izračun modela večkriterijskega določanja z uporabo Solver-ja	50
Slika 17: Primerjava koristi v primeru povečanja oziroma zmanjšanja finančnih sredstev za kriterij RCO pri finančni omejitvi 10 mio € ± 20%	52
Slika 18: Primerjava koristi v primeru povečanja oziroma zmanjšanja finančnih sredstev za kriterij SN pri finančni omejitvi 10 mio € ± 20%	54
Slika 19: Primerjava koristi v primeru povečanja oziroma zmanjšanja finančnih sredstev za kriterij Z	55
Slika 20: Primerjava koristi v primeru povečanja oziroma zmanjšanja finančnih sredstev za kriterij IS	57
Slika 21: Primerjava koristi v primeru povečanja oziroma zmanjšanja finančnih sredstev za kriterij SON	58
Slika 22: Primerjava koristi v primeru povečanja oziroma zmanjšanja finančnih sredstev za kriterij PRO	60
Slika 23: Primerjava koristi v primeru povečanja oziroma zmanjšanja finančnih sredstev za sanacijo izbrane skupine nadvozov (nadvozi so izbrani s pomočjo večkriterijskega modela za odločanje)	63

SLOVAR

abrasion	abrazija
acceptance inspections	sprejemni pregled
analytical hierarchy process	analitični hierarhični proces
asset management	upravljanje s premoženjem
carbonation	karbonizacija
constraints	vezi
corrosion	korozija
database management system	sistem upravljanja z bazo podatkov
deterioration	propadanje
diffusion	difuzija
durability	trajnost
superficial inspection	splošni pregled
general inspection	redni pregled
maintenance	vzdrževanje
major inspection	glavni pregled
multiple criteria decision method	večkriterijska metoda
Pareto optimality	Paretov optimum
special inspection	detajlni pregled
knapsack method	metoda nahrbtnika
guarantee inspections	garancijski pregled
water-cement ratio	vodocementno razmerje
highway overpass	avtocestni nadvoz

SEZNAM UPORABLJENIH OZNAK

AD	Amortizacijska doba
AHP	Analitično hierarhični proces
CEM	Cement
CN	Cena nadvoza
COD	Cena obnovitvenih del
ČON	Čas obnove nadvoza
DZ	Dolžina zapore
IS	Indirektni stroški
ISO	Indirektni stroški nadvoza
PLDP	Povprečni letni dnevni promet
PRO	Propadanje
RCO	Rating celotnega objekta
RC	Rating cestišča
ROO	Rating opreme objekta
RPK	Rating prekladne konstrukcije
RSK	Rating spodnje konstrukcije
SN	Starost nadvoza
SON	Stroški obnove nadvoza
SZN	Stroški zamenjave nadvoza
SZO	Stroški zapore pri obnovi
TPN	Tlorisna površina nadvoza
Z	Zamenjava

1 UVOD

1.1 Splošno

Cestna infrastruktura predstavlja izjemno pomemben segment infrastrukture, ki omogoča transport ljudi in dobrin. S tem predstavlja enega ključnih delov grajenega okolja, brez katerega gospodarstvo ne more delovati. Na oblikovanje in razvoj prometne infrastrukture vpliva gospodarsko, socialno in kulturno okolje države ter področja, ki mejijo oziroma se prekrivajo s prometnim: razvoj transportnih sistemov, tehnično-tehnološki in organizacijski razvoj, povpraševanje in ponudba transportnih storitev, geografski prometni položaj, kmetijstvo, zaposlovanje, notranje zadeve, varnost in obrambni sistemi. Razvejanost slovenskega prometnega omrežja in geografske značilnosti naše države narekujejo potrebo po oblikovanju regijskih centrov, katerih naloga bo povezovanje transportnih sistemov (RePPRS, 2006).

Nedvomno torej potrebujemo urejeno in varno cestno infrastrukturo. Redna uporaba in atmosferski vplivi pospešijo proces propadanja posameznih delov ceste, zato je ključnega pomena izbira pravilnega trenutka za obnovo. Želja vsakega investitorja oziroma upravljavca je, da bi zgrajen objekt doživel čim daljšo življenjsko dobo ob čim manjših stroških vzdrževanja. V praksi pa se pogosto izkaže, da je začetni vložek v izgradnjo konstrukcije obratno sorazmeren s stroški vzdrževanja med obratovanjem. Bistvenega pomena za optimalno oziroma najdaljšo življenjsko dobo konstrukcije je pravilna časovna izbira popravila, kar je naloga cestnega upravljavca. Praktična in teoretična usposobljenost, natančnost, vestnost in storilnost so le nekatere lastnosti, ki jih mora imeti upravljavec cest, ki na podlagi trenutnega stanja, razpoložljivosti financ ter tveganja, ki ga lahko povzroči poškodovanost objekta, določi, v kolikšnem obsegu oziroma kateri deli objekta se bodo sanirali. Za posamezne vrste cestnega omrežja je praviloma odgovoren en upravljavec, ki ima za njegovo vzdrževanje na voljo omejena finančna sredstva, njegova naloga pa je med drugim tudi, da med objekti, identificira tiste, na katerih se naj obnovitveni ukrepi tudi dejansko izvedejo. Ker so cestna omrežja posameznega upravljalca praviloma obsežna, pregleduje trenutno stanje objektov več pregledovalcev. V takšnem primeru je potrebno subjektivnost njihovega ocenjevanja zmanjšati s pomočjo različnih ukrepov, kot na primer skupno ocenjevanje ali dodatno usposabljanje.

V Sloveniji je trenutno zgrajenih 607 km avtocest in hitrih cest s 321 nadvozi (DARS, 2013). Številke vsak dan naraščajo, vključno s cenami izgradnje oziroma obnove. Racionalna izbira skupine objektov, ki naj bodo udeleženi vzdrževalnih ali obnovitvenih ukrepov v danem časovnem obdobju, je nujno potrebna za maksimiranje skupne koristi, ki jih ta dela prinesejo izbranemu omrežju ter njegovim uporabnikom. Ker je pri določanju prioritet pri vzdrževanju in obnovi objektov potrebno upoštevati različne kriterije, mora zgoraj predstavljena izbira temeljiti na večkriterijskem modelu odločanja.

1.2 Namen diplomske naloge

Za upravljanje cestne infrastrukture je potrebno veliko znanja, sposobnosti reševanja nastalih problemov in urejena zbirka podatkov o cestni infrastrukturi. Še zlasti je potreben stalen nadzor in evidenca trenutnega stanja infrastrukture. Vse podatke moramo hraniti v dobro urejeni zbirki podatkov (»database management system«), kar je pogoj za delovanje optimalnega programa obnove in vzdrževanja, ki temelji na večkriterijskem določanju. Nadalje moramo sistematično utemeljiti kriterije, ki jih vključimo v večkriterijski model za odločanje. Posebno pozornost bomo v tej nalogi namenili hitrosti propadanja objektov oziroma njegovih posameznih delov ter vključitvi tega parametra v večkriterijski model za določitev skupine objektov, katerih obnova rezultira v največji skupni koristi.

Glede na velikost, starost in vsakoletni prirastek dolžine avtocest sodimo, da je takšen pristop primeren za slovenska cestna omrežja. Upravljavcem posameznih cestnih omrežij bi omogočil bolj učinkovito obnovo ter s tem tudi bolj učinkovito porabo javnih sredstev, ki so temu namenjena.

1.3 Pregled vsebine diplomske naloge

Uvodnemu poglavju sledi opis trenutno uporabljane metodologije za ocenjevanje stanja premostitvenih objektov v okviru cestne infrastrukture v Republiki Sloveniji. V nadaljevanju so opisani pregledi in ocenjevanje stanja objektov, ki jih predpisuje slovenska zakonodaja.

V diplomskem delu smo velik del pozornosti namenili procesu propadanja armiranega betona. Opisan kriterij je le eden izmed najpogostejših, ki smo jih uporabili pri izdelavi večkriterijskega modela odločanja in tako naredili selekcijo izbranih nadvozov potrebnih sanacije.

V zaključnem poglavju so povzeti rezultati diplomske naloge, katerim smo dodali še smernice in priporočila za nadaljnjo delo.

2 METODOLOGIJA UPRAVLJANJA OBJEKTOV V OKVIRU CESTNE INFRASTRUKTURE V SLOVENIJI

V Republiki Sloveniji se javna cestna infrastruktura deli na državne in občinske ceste (ZJC, 2006). Ceste so razdeljene v različne kategorije (preglednica 1). Družba DARS d.d., ki je v celoti last Republike Slovenije s statusom javnega podjetja, je odgovorna za umestitev avtocest in hitrih dvopasovnih cest v prostor, izvaja gradnjo cest, jih upravlja ter vzdržuje. DARS d.d. trenutno upravlja skupno 607 km avtocest in hitrih cest, 215 mostov, 191 viaduktov, 321 nadvozov, 323 podvozov in 41 predorov (DARS, 2013).

Hitre, glavne in regionalne ceste upravlja Direkcija Republike Slovenije za ceste (DRSC), ki je poseben organ v sklopu Ministrstva za promet. Lokalne in javne poti upravlja lokalne skupnosti (občine). Skupna dolžina cest po navedenih kategorij cest je predstavljena v preglednici 1.

Vidimo lahko, da je obseg obravnavane državne in občinske lastnine zelo velik, zato je potrebno z njo preiščeno in strokovno ravnati. Že majhne napake v upravljanju lahko pomenijo zelo veliko finančno izgubo ter nepotrebno zmanjšanje varnosti in funkcionalnosti objektov. Primer takšnega ravnanja je nevestno vzdrževanje objekta, s katerimi prihranimo majhen del denarja, njegov rezultat pa je bistveno skrajšanje življenjske dobe ter posledično poraba velikega obsega finančnih sredstev za izdelavo novega objekta.

Preglednica 1: Kategorije javnih cest v Sloveniji (DRSC, 2013)

Kategorija ceste	Dolžina [km]	Lastnik	Upravljalec
Avtoceste	746	država	DARS
Hitre ceste – dvopasovne	16	država	DARS
Hitre ceste	60	država	DRSC
Glavne ceste	819	država	DRSC
Regionalne ceste	5117	država	DRSC
Lokalne ceste	13598	občina	občina
Javne poti	18626	občina	občina

3 PREGLEDI STANJA OBJEKTOV

3.1 Uvod

Razlogi za opravljanje pregledov (COST 345, 2002):

- potrditi je potrebno, da konstrukcija služi svojemu namenu in bo služila tudi v bližnji prihodnosti;
- odkrijemo morebitne napake oziroma primere napačne uporabe konstrukcije (primer: preobremenjena tovorna vozila);
- pridobimo podatke o stanju objekta, na podlagi katerega naredimo načrt in predvideno oceno sanacijskih del.

Na podlagi opazovanja in spremljanja stanja objektov se odločimo za izvedbo pregleda. Pri pregledu moramo biti pozorni na (COST 345, 2002):

- zaznavanje napak in znakov porušitve objektov;
- določitev pojavljanja, obsega in vzroka za propadanje materialov;
- zaznavanje sprememb v uporabi, katere lahko vplivajo na varnost in/ali trajnost;
- razvoj učinkovitosti različnih tehnik vzdrževanja;
- pridobitev informacij, ki služijo za določitev nosilnosti objektov;
- določitev stanja objektov oziroma delov objekta.

Pregledi lahko vsebujejo tudi (COST 345, 2002):

- vizualni pregled objekta;
- in – situ preiskave in/ali odvzem vzorcev za laboratorijske preiskave;
- monitoring objekta;
- uporaba prometnih preiskav (štetje prometa, tehtanje vozil ...);
- pisanje poročil.

3.2 Izvajanje pregledov v Sloveniji

V Sloveniji izvajamo preglede skladno s smernicami, ki jih je leta 1992 izdala OECD (Organisation for economic co-operation and development). Le-te narekujejo izvajanje naslednjih pregledov, ki so skladni s priporočili:

- splošni pregled (»superficial inspection«),
- redni pregled (»general inspection«),

- glavni pregled (»major inspection«) in
- detajlni pregled (»special inspection«).

Pregledi se med seboj razlikujejo po natančnosti in pogostosti izvajanja. Bolj kot je pregled objekta natančen, redkeje se izvaja. Z izvajanjem pregledov zagotovimo, da objekti opravljajo svojo nalogo in bodo svojo namensko funkcijo opravljali tudi naprej. Obenem preverimo stanje konstrukcije in določimo eventuelne nadaljnje posege (vzdrževanje, popravila, obnova) (OECD, 1992).

3.3 Opis pregledov

Splošni pregled po navadi opravlja pregledovalna služba upravljalca (koncesionarja) izbranega fonda cest, ki ni posebej usposobljena za pregledovanje cestnih objektov. Namen splošnih pregledov je ocena stanja objekta in odkrite poškodbe, ki predstavljajo nevarnost uporabnikom in vodijo v večje stroške vzdrževanja. Pregled zajema vidne dele, kot so robni venec, hodniki, robniki, dilatacije, izlivniki, odvodnjavanje, zaščitna ograja.

Redni pregled opravljajo zunanji kvalificirani pregledovalci vsaki dve leti. Koncesionar izbere zunanjega pregledovalca na podlagi javnega razpisa. Vizualno, brez specialne opreme, se pregleda prekladna konstrukcija, spodnja konstrukcija, cestišče in oprema objekta. Poročilo zajema informacije o lokaciji objekta, vrsti objekta, šifri objekta ter vrsti, lokaciji in jakosti poškodb. Na podlagi teh podatkov dobimo tudi oceno stanja objekta. Poročilo je opremljeno tudi s predlogom sanacij in predlogom morebitnih podrobnejših pregledov.

Glavni pregled poteka zelo podobno kot redni pregled, vendar pregledujemo tudi težje dostopna mesta s pomočjo specialne opreme. Pregledamo lahko tudi temelje in ostale elemente objekta, ki so lahko tudi pod vodo. Glavni pregledi so lahko tudi bolj specifični, kot na primer sprejemni pregledi (»acceptance inspections«) in garancijski pregledi (»guarantee inspections«). Prvi se opravijo pri prevzemu objekta, da se odkrije morebitne napake izvajalca. Slednji pa se izvaja tik pred iztekom garancijskega roka.

Detajlni pregled se izvaja na podlagi rednega ali glavnega pregleda, ko potrebujemo podrobnejše informacije o poškodbah oziroma, če se enaka poškodba ponavlja na podobnem objektu. Ta pregled opravljamo tudi na objektih, kjer se opravlja monitoring (stalen ali občasen). Izvaja se tudi po večjih izrednih dogodkih (naravne nesreče, poplave, potresi, kemični izlivi, prometne nesreče...), ki vplivajo na stanje objekta (OECD, 1992).

3.4 Slovenska zakonodaja, ki ureja področje cest

V Sloveniji vzdrževanje cest ureja več zakonov in podzakonskih aktov:

- Zakon o graditvi objektov (Ur. list RS, št. 110/2002)
- Zakon o javnih cestah (Ur. list RS, št. 29/1997)
- Zakon o varnosti v cestnem prometu (Ur. list RS, št. 83/2004)
- Zakon o varstvu okolja (Ur. list RS, št. 41/2004)
- Zakon o javnem naročanju (Ur. list RS, št. 128/2006)
- Pravilnik o vrstah vzdrževalnih del na javnih cestah in nivoju rednega vzdrževanja javnih cest (Ur. list RS, št. 62/1998)
- Pravilnik o načinu označevanja javnih cest in o evidencah o javnih cestah in objektih na njih (Ur. list RS, št. 49/1997)
- Pravilnik o prometni signalizaciji in prometni opremi na javnih cestah (Ur. list RS, št. 46/2000)
- Pravilnik o izrednih prevozih (Ur. list RS, št. 50/1999)
- Uredba o merilih za kategorizacijo javnih cest (Ur. list RS, št. 49/1997)
- Uredba o načinu opravljanja rednega vzdrževanja in organiziranja obnavljanja državnih cest (Ur. list RS, št. 48/1998)

4 OCENJEVANJE STANJA OBJEKTOV

4.1 Metodologija

Stanje premostitvenih objektov ocenjujemo na dva načina. Kvalitativno oceno določimo na podlagi vnaprej določene lestvice (naprimer: zelo dobro, dobro, zadovoljivo, slabo in kritično). Kvantitativno oceno pa podamo številčno. Pri tem opredelimo stanje objekta z indeksom poškodovanosti. Nižja kot je ocena, v boljšem stanju se nahaja objekt. Kvalitativno oceno stanja največkrat določimo na podlagi predhodno izračunane kvantitativne ocene oziroma ratinga objekta (OECD, 1992). V primeru, ki ga v nadaljevanju obravnavamo, se ugotovitve splošnih pregledov zbirajo v obratovalnem dnevniku, za katerega skrbi avtocestna baza DARS-a v Slovenskih Konjicah.

V kakšnem stanju se objekt nahaja, je odvisno od njegovih gradnikov. Pomembnost posameznih gradnikov razvrstimo v hierarhično lestvico. Na dnu se nahajajo posamezni elementi, ki so sestavni deli konstrukcijskih sklopov, ki sestavljajo celoto. Pomembnost med elementi se razlikuje, saj enaka poškodba na dveh različnih elementih ne predstavljata iste nevarnosti. Iz tega razloga uvedemo možnost, da imajo različni deli objekta različno relativno pomembnost oziroma da določimo za posamezne dele objekta različne uteži. Za določanje relativne pomembnosti identificiranih kriterijev uporabimo analitično hierarhični proces AHP (»analytical hierarchy proces«), ki ga je utemeljil Saaty (1990). V pregledu določimo še numerične vrednosti za vrsto, jakost in razširjenost poškodb. Kot rezultat dobimo vrednosti faktorja vrste poškodbe, faktor jakost poškodbe in faktor razširjenost poškodbe. Rezultati posameznih vrednosti predstavljajo vpliv posameznih poškodb. Skupno oceno oziroma rating objekta dobimo s seštevanjem posameznih delnih ratingov. Stanje objektov lahko ocenimo s pomočjo pregleda objekta, s pomočjo modela propadanja in s pomočjo izhodiščne ocene stanja.

V Republiki Sloveniji uporabljajo pregledovalci za vrednotenje objektov programske opreme, ki so jo razvili na Zavodu za raziskavo materialov in konstrukcij (ZRMK). Program omogoča razvrščanje objektov glede na stopnjo poškodovanosti in pregled nad najbolj značilnimi poškodbami na elementih.

V programu mora pregledovalec uporabljati enotna besedna gesla, poročila o pregledu premostitvenih objektov morajo imeti izdelan predlog formata in ugotovitve predogleda morajo imeti izdelan predlog za statično obdelavo. S tem je na ravni podatkovne zbirke vrednotenje in opisovanje objekta poenoteno oziroma standardizirano. Opisani ukrep je zmanjšal predhodno (dolgoletno) subjektivnost pri opisovanju poškodb. Pred uvedbo opisanega ukrepa so različni ocenjevalci uporabljali za opisovanje istih poškodb različne izraze, kar je otežilo nadaljnjo delo.

4.2 Osnove numeričnega ocenjevanja

Postopek numeričnega ocenjevanja, ki ga je prav tako razvil ZMRK, temelji na ratingih objektov, ki so izračunani na osnovi tipa, lokacije, pomembnosti, jakosti, razširjenosti poškodbe. Ratingi temeljijo na akumuliranju računskih vrednosti poškodb posameznih delov objekta na dnu hierarhične lestvice in pripadajo enemu izmed konstrukcijskih sklopov:

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

Vrednosti posameznih poškodb določimo z naslednjim izrazom:

$$R_i = B_i \times K_{1,j} \times K_{2,i,j} \times K_{3,i,j} \times K_{4,i,j} \quad (1)$$

Kjer je:

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

$K_{1,j}$ – faktor vrste poškodb ali napake (1 - 5)

$K_{2,i,j}$ – faktor jakosti poškodbe (0,1 - 1)

$K_{3,i,j}$ – faktor razširjenosti poškodbe (0,5 - 1)

$K_{4,i,j}$ – faktor nujnosti intervencije (1 - 10)

Delni ratingi ter ratingi celotnega cestišča so določeni z izrazi:

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 cestišča (RCO):

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

Vsota delnih ratingov je rating celotnega objekta (RCO). Pri tem se moramo zavedati, da posamezni delni ratingi nimajo enakega vpliva na rating celotnega objekta. Rating spodnje konstrukcije (RSK) in rating prekladne konstrukcije (RPK) imata bistven vpliv na rating celotnega objekta (RCO), med tem ko imata rating cestišča (RC) in rating opreme objekta (ROO) na RCO zelo blag vpliv.

Z RCO opišemo kvantitativno oceno stanja objekta. Povezava med kvantitativno in kvalitativno oceno stanja je predstavljena v preglednici 2.

Preglednica 2: Povezava kvalitativne in kvantitativne oceno stanja objekta

Kodirana ocena stanja	RCO
ZELO DOBRO (5)	0 - 10
DOBRO (4)	5 - 20
ZADOVOLJIVO (3)	15 - 30
SLABO (2)	25 - 40
KRITIČNO (1)	> 35

Kvalitativno oceno uporabljamo v računalniškem poročilu, z njo lahko primerjamo različne vrste objektov (preglednica 2) iz različnih materialov (preglednica 3). Prav tako je najvplivnejši kriterij pri optimizaciji vrstnega reda popravil. RCO in kodirana ocena stanja nista enolično določeni, zato lahko pride do primera v katerem imata dva različna objekta enak RCO in različno kodirano oceno stanja. Posledica ne enoličnosti nastane zaradi velikega raztrosa maksimalnih RCO, na primer nosilci in betonski objekti dosežejo precej večje maksimalne ratinge, kot ločne konstrukcije. Primerjavo različnih objektov iz različnih materialov izvedemo tako, da RCO korigiramo z ustreznimi dodatnimi faktorji. Korekcijo RCO izvedemo z ustreznim normiranjem glede na maksimalen RCO posameznih konstrukcijskih sklopov.

Preglednica 3: Največji možen RCO za različne vrste nosilnih elementov

Vrste nosilnih elementov	Maksimalen RCO
PLOŠČA	80
LOK	50
OBOK	50
NOSILEC	100
OKVIR	50
TUNEL	50

Preglednica 4: Največji možen RCO za različne materiale objektov

Material objekta	Maksimalen RCO
ARMIRANI BETON	80
KAMEN	50
JEKLO – ARMIRANI BETON	50
KAMEN – ARMIRANI BETON	50
PREDNAPETI BETON	100
SOVPREŽNA KONSTRUKCIJA	50
JEKLO – LES	50

Razvrstitev objektov po poškodovanosti oziroma po RCO kaže, da se velika večina objektov uvršča v srednje tri razrede: SLABO, ZADOVOLJIVO in DOBRO. Objekte natančneje razvrstimo z uporabo normiranih ratingov objektov, ki imajo primerjalne ocene poškodovanosti.

V obstoječem postopku se predpostavlja, da je zveza med RCO in delnimi ratingi linearna. Primerjava ocene objektov in z zgoraj opisano metodologijo kaže, da predpostavka v nekaterih primerih ni ustrezna. Tak je primer nosileca preko več polj. Pri ocenjevanju takšnega objekta opazimo, da napake, ki se ponavljajo čez celoten nosilec oziroma so prisotne v več poljih nesorazmerno poslabšajo oceno objekta. V diplomski nalogi nam to ne dela težav. Določevanje faktorjev delnega ratinga posameznega konstrukcijskega sklopa bi lahko določili na osnovi regresijske analize oziroma z uporabo natančnejših matematičnih orodji.

4.3 Problematika ocenjevanja

Glavni kriterij ocenjevanja je rating celotne konstrukcije, ki je sestavljen iz ratingov prekladne in spodnje konstrukcije, ki bistveno vplivata na celoto, ter ratingom cestišča in opreme objekta, ki imata na celoto bistveno manjši vpliv. Določitev vrednosti posameznih poškodb določijo usposobljeni strokovnjaki, na podlagi katerih se nato izračuna rating konstrukcije. Eden glavnih izzivov vizualnega ocenjevanja poškodb objekta je subjektivnost, usposobljenost in izkušnost posameznih pregledovalcev. Od natančnega in izkušenega pregledovalca lahko pričakujemo, da zaradi neke majhne, neizkušenemu pregledovalcu nepomembne stvari, oceni stanje objekta popolnoma drugače. Nekateri se na podlagi izkušenj odločijo za izvajanje dodatnih preizkusov oziroma monitoringa, ki lahko pripeljejo do odkritja novih poškodb. Strokovnjaki, ki pregledujejo in ocenjujejo objekte, pridobivajo izkušnje, ki zagotavljajo kakovostno ocenjevanje, na osnovi organiziranih usposabljanj in prakse. S tem povezani stroški niso nezanemarljivi ter vplivajo na ceno posameznega pregleda objekta.

Kot smo omenili, je celoten rating objekta sestavljen iz posameznih ratingov konstrukcijskih sklopov. Ob tem se pojavi vprašanje, ali vsi konstrukcijski skopi propadajo približno enako hitro ali je propadanje skoncentrirano samo na en konstrukcijski sklop (na primer preklada), ki propada zelo hitro medtem, ko ostali skoraj nič. Posledično lahko dobimo zelo zavajajočo ali celo podpovprečno hitrost propadanja, v resnici pa je potrebno objekt nemudoma sanirati, saj je lahko konstrukcijski sklop tik pred poružitvijo.

Navedena problematika predstavlja v praksi veliko težavo in še ni dokončno razrešena. Ena od možnosti rešitve je upoštevanje dveh hitrosti propadanja v pripadajočem večkriterijskem modelu. Prva bi predstavljala hitrost propadanja celotnega objekta, druga pa hitrost propadanja najbolj poškodovanega konstrukcijskega sklopa. Določitev takšnih kriterijev je obsežna in zahtevna raziskovalna naloga, ki presega obseg tega diplomskega dela.

4.4 Skupina nadvozov nad izbranim avtocestnim odsekom

Skupina nadvozov, ki jo bomo v nadaljevanju obravnavali, se nahaja na odseku avtoceste med Slivnico in Arjo vasjo. Skupno 27 nadvozov (preglednica 5) je bila zgrajenih med letoma 1974 in 1976, tako spadajo med najstarejše objekte avtocestne strukture pri nas.

Kodirane ocene stanja objektov v veliki večini zajema oceno DOBRO (4), zato te ocene niso najboljši kriterij za izdelavo vrstnega reda intervencijskih ukrepov. Posledično bomo v nadaljnjem izvajanju uporabili vrednost RCO, kjer se ocene med seboj precej razlikujejo. Prav tako zavzemata parametra, ki se nanašata na tip konstrukcije in material, zelo podobne vrednosti. Z določitvijo ratinga celotnega objekta planiramo vrstni red sanacij objektov, neprimeren pa je za planiranje manjših popravil, ki so lahko prav tako pomembna. Primer je korodirana ograja na nadvozih, ki izgublja nosilnost, vendar ne vpliva znatno na RCO. V takšnem primeru lahko pride do poružitve, še preden je objekt na vrsti za večjo obnovo, posledice padle ograje iz nadvoza na avtocesto pa so lahko tragične. Upravljelec avtocest z njihovimi objekti v Sloveniji je DARS. V primeru nadvoza nad avtocesto, država podeljuje DARS-u le upravljanje z nosilno konstrukcijo. Na nadvozih pa običajno poteka cesta, katere upravljavec je DRSC ali lokalna skupnost. Po navadi pride tu do konfliktna situacije dveh različnih (v obeh primerih javnih) upravljalcev, ki imata pri določanju objektov, ki naj imajo pri obnovi prednost, različne prioritete in interese.

Preglednica 5: Obravnavani nadvozi (Povzeto po Kne, 2007)

Upravitelj premoščene ceste	Rating celotnega	Kodificirana ocena	Leto	Izvajalec	Tlorisna površina	Povprečni letni	Dolžina
Občina	4.29	DOBRO (4)	1974	GRADIS	460.5	30800	1.278
Občina	9.02	DOBRO (4)	1974	GRADIS	472.6	30827	2.515
DRSC	6.61	DOBRO (4)	1976	GRADIS	521.9	30827	2.515
DARS	9.03	DOBRO (4)	1975	GRADIS	552.6	29500	2.515
Občina	9.92	DOBRO (4)	1975	GRADIS	444.8	29500	1.725
Občina	6.78	DOBRO (4)	1976	GRADIS	460.5	29500	2.555
Občina	5.45	DOBRO (4)	1976	GRADIS	390	29500	2.631
Občina	12.57	DOBRO (4)	1976	GRADIS	442	29500	2.631
DRSC	11.61	DOBRO (4)	1976	GRADIS	442	19800	2.023
Občina	12.57	DOBRO (4)	1976	GRADIS	390	19800	2.137
Občina	9.51	DOBRO (4)	1976	GRADIS	642.75	19800	2.13
Občina	13.74	DOBRO (4)	1976	GRADIS	373.5	19800	2.145
Občina	4.77	DOBRO (4)	1976	GRADIS	460.5	19800	2.145
DARS	11.89	DOBRO (4)	1976	GRADIS	552.6	21000	0.3
DRSC	15.01	DOBRO (4)	1976	GRADIS	460.5	21000	0.737
Javna pot	6.29	DOBRO (4)	1976	GRADIS	390	21000	2.645
DRSC	10.17	DOBRO (4)	1976	GRADIS	521.9	21000	2.366
DARS	9.87	DOBRO (4)	1976	GRADIS	546.46	26000	2.366
Lokalna skupnost	5.27	ZELO DOBRO (5)	1976	GRADIS	430.5	26000	2.366
Javna pot	6.96	DOBRO (4)	1976	GRADIS	430.5	26000	2.041
Občina	7.37	DOBRO (4)	1976	GRADIS	472.6	26000	2.083
Občina	9.11	DOBRO (4)	1976	GRADIS	491.2	26000	2.238
Občina	9.83	DOBRO (4)	1976	GRADIS	539.32	26000	2.238
DARS	11.84	DOBRO (4)	1976	GRADIS	924.8448	30697	2.248
DRSC	14.89	ZADOVOLJIVO (3)	1976	GRADIS	1645.564	30697	2.248
Občina	18.05	ZADOVOLJIVO (3)	1976	GRADIS	543.6	30697	2.165
Občina	10.07	DOBRO (4)	1976	GRADIS	543.6	30697	2.689

Se nadaljuje...

...nadaljevanje preglednice 5

Šifra	Opis odseka	Šifra	Kraj pojavitve	Ime premoščene ceste
1 0034	Slivnica	VA0055	SLIVNICA	L 9034
2 0035	Slivnica - Fram	VA0056	SLIVNICA	L 9013
3 0035	Slivnica - Fram	VA0057	FRAM	R3 - 711
4 0036	Fram - Sl. Bistrica	VA0058	FRAM	PRIKLJ. FRAM
5 0036	Fram - Sl. Bistrica	VA0061	POŽEG	LC 340040
6 0036	Fram - Sl. Bistrica	VA0062	POKOŠE	LC 440610
7 0036	Fram - Sl. Bistrica	VA0066	JOŽEFOV HRIB	LC 440570
8 0036	Fram - Sl. Bistrica	VA0069	SP. NOVA VAS	LC 440100
9 0037	Sl. Bistrica - Sl. Konjice	VA0071	SP. LOŽNICA	R1 - 219
10 0037	Sl. Bistrica - Sl. Konjice	VA0074	SP. LOŽNICA	LC 440350
11 0037	Sl. Bistrica - Sl. Konjice	VA0075	VRHOLE	LC 440310
12 0037	Sl. Bistrica - Sl. Konjice	VA0077	PRELOGE	LC 440330
13 0037	Sl. Bistrica - Sl. Konjice	VA0079	PRELOGE	LC 440340
14 0038	Sl. Konjice - Dramlje	VA0082	TEPANJE	PRIKLJ. SL. KONJICE
15 0038	Sl. Konjice - Dramlje	VA0083	TEPANJE	R3 - 686
16 0038	Sl. Konjice - Dramlje	VA0092	SLATINA	JP 884030
17 0038	Sl. Konjice - Dramlje	VA0098	DRAMLJE	R3 - 686
18 0039	Dramlje - Celje	VA0099	DRAMLJE	PRIKLJ. DRAMLJE
19 0039	Dramlje - Celje	VA0101	ŠOHTA	LC 396020
20 0039	Dramlje - Celje	VA0102	ŠOHTA	JP 896050
21 0039	Dramlje - Celje	VA0106	LJUBEČNA	LC 534640
22 0039	Dramlje - Celje	VA0109	LESKOVEC	LC 534370
23 0039	Dramlje - Celje	VA0110	TRNOVLJE	LC 034110
24 0040	Celje - Arja vas	VA0112	HUDINJA	PRIKLJ. CELJE
25 0040	Celje - Arja vas	VA0113	HUDINJA	R2 - 430
26 0040	Celje - Arja vas	VA0116	DOBRAVA	LC 038070
27 0040	Celje - Arja vas	VA0119	LOPATA	LC 032080

4.5 Poškodbe nadvozov

Pri pregledih objektov je bistvenega pomena prepoznavanje poškodovanosti, saj je lahko le tako ocenimo nosilnost, funkcionalnost, preostalo življenjsko dobo in načrtovanje intervencijskih ukrepov. Vsi obravnavani nadvozi so v celoti armiranobetonski, vplivi pa so predstavljeni v preglednici 6.

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

VPLIV	PODVPLIV
LASTNOST KONSTRUKCIJE	<ul style="list-style-type: none"> • zasnova konstrukcije • konstrukcijski detajli • izbira materiala • tehnologija gradnje • oprema in odvodnjavanje • zaščita konstrukcije • izbira vzdrževanja
	<ul style="list-style-type: none"> •
KAKOVOST VGRAJENIH MATERIALOV	<ul style="list-style-type: none"> • projekt betona • kakovost in vrsta agregata • uporaba dodatkov • nega betona • debelina zaščitnega sloja
VZDRŽEVANJE, POPRAVILO, OBNOVA	<ul style="list-style-type: none"> • redni pregledi • redno vzdrževanje • redna obnova
PROMET	<ul style="list-style-type: none"> • omejitev 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

Vsi nadvozi so zelo podobno konstrukcijsko in materialno zasnovani, zato se pojavljajo enake poškodbe pri vseh nadvozih. Tipične poškodbe za vsak segment posebej so opisane v preglednici 7.

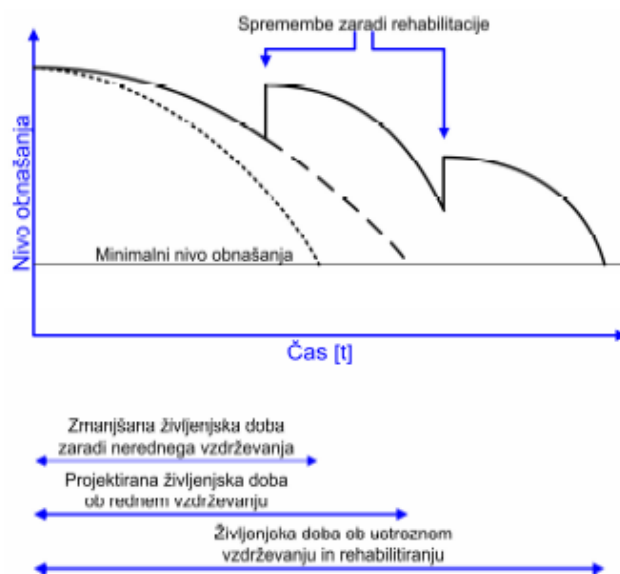
Preglednica 7: Pregled tipičnih poškodb pregledanih nadvozov (Uranjek, 2006)

KONSTRUKCIJSKI SKLOP	TIPIČNE POŠKODBE
SPODNJA KONSTRUKCIJA	stopničast prehod na most; poškodbe zaradi posedkov; manjkajoča obloga/erozija; brežin nasipanega 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 preobremenitve/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/robnem 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 Modeliranje propadanja objekta

Propadanje objekta je neizbežen proces, katerega hitrost je odvisna od intenzitete uporabe, časa izpostavljenosti uporabi, propadanje materialov ter načina, stopnje ter pogostosti vzdrževanja. Ko je objekt dokončan, lahko proces propadanja upočasnimo samo še z primernimi načini vzdrževanja, iz česar sledi, da je zelo pomembno narediti prognozo obnašanja konstrukcije. Modeliranje propadanja objekta je tako eden od ključnih pogojev za določanje optimalnega vrstnega reda vzdrževanja objektov, obenem pa nudi tudi analizo razmerja funkcionalnosti in življenjske dobe objekta. Funkcionalnost objektov se s časoma zmanjšuje, zaradi procesa propadanja, kar je prikazano na sliki 1. Tri krivulje se razlikujejo med seboj zaradi drugega načina obnove in vzdrževanja. Prva krivulja na sliki 1 prikazuje proces propadanja pri nerednem vzdrževanju, kar vodi posledično k najkrajši življenjski dobi. Naslednja

krivulja prikazuje proces propadanja pri rednem vzdrževanju, kjer dosežemo projektno življenjsko dobo objekta. Gornja krivulja prikazuje obnašanje objekta pri rednem vzdrževanju in dveh obnovah, kar podaljša predvideno življenjsko dobo. V trenutku, ko doseže konstrukcija minimalni nivo obnašanja, je obnova objekta nujna, ali pa je potrebno prepovedati njegovo uporabo, saj postane njegova uporaba tvegana.



Slika 1: Shematski prikaz propadanja pomanjkljivo vzdrževanega, redno vzdrževanega in rehabilitiranega objekta s časom (Uranjek, 2006).

Za lažjo predstavo so v preglednici 5 podane projektne življenjske dobe objektov oziroma nekaterih sestavnih delov, ob predpostavki rednega vzdrževanja.

Preglednica 5: Življenjska doba objektov oziroma nekaterih sestavnih delov (Uranjek, 2006)

Projektna življenjska doba	Objekt oziroma sestavni del
80 let	objekti na lokalnih oziroma regionalni cestah
100 let	objekti na magistralnih cestah in avtocestah
120 let	večji objekti, objekti na pomembnih strateških odsekih
20 – 25 let	oprema mostu; ležišča, dilatacije, odvodnjavanje, ograje, hidroizolacije
30 – 50 let	voziščna plošča mostu
80 – 120 let	nosilna konstrukcija mostu
130 – 150 let	podporna konstrukcija mostu

4.7 Markovski verižni model propadanja objektov

Markovske verige so stohastični proces, s katerim zelo učinkovito napovemo obnašanje objektov s časom. Stanje v katerem se trenutno nahaja objekt, opišemo s kodirano oceno (preglednica 2). Prognoza spremembe v naslednje stanje objekta je odvisna samo od trenutnega stanja in popolnoma neodvisna od preteklih sprememb, kar je glavna značilnost Markovskih verig. Markovski verižni sistem je torej naključni proces brez spomina. Sistem temelji na verjetnostni napovedi diskretnega fizičnega in funkcionalnega stanja konstrukcije v nekoliko slabše diskretno stanje. V našem primeru je projektna življenjska doba objekta sestavljena iz petih referenčnih stanj. Prehajanje iz enega referenčnega stanja v drugega opisuje postopno propadanje objekta. Opisan način modeliranja stanja objektov je zelo prilagodljiv in zajame začetne negotovosti. Uporaben je tudi za prognozo obnašanja večjega števila objektov za daljše časovne obdobje (Jamnik, 1987).

Objekt tako prehaja iz najboljšega stanja proti najslabšemu. Prehodna matrika opisuje prehode iz posameznih diskretnih stanj v nižja diskretna stanja v eni časovni periodi. Iz prakse je znano, da je hitrost propadanja objektov s časom vse večja, kar je prikazano na sliki

9, torej je prehod iz stanja ODLIČNO (5) v stanje DOBRO (4) drugačen, kot prehod iz stanja DOBRO (4) v ZADOVOLJIVO (3) in tako naprej. Propadanje opišemo z več parametri, ki jih vstavimo v prehodno matriko S ($n=S$). Dimenzija matrike S je 5 in je enaka številu diskretnih stanj.

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

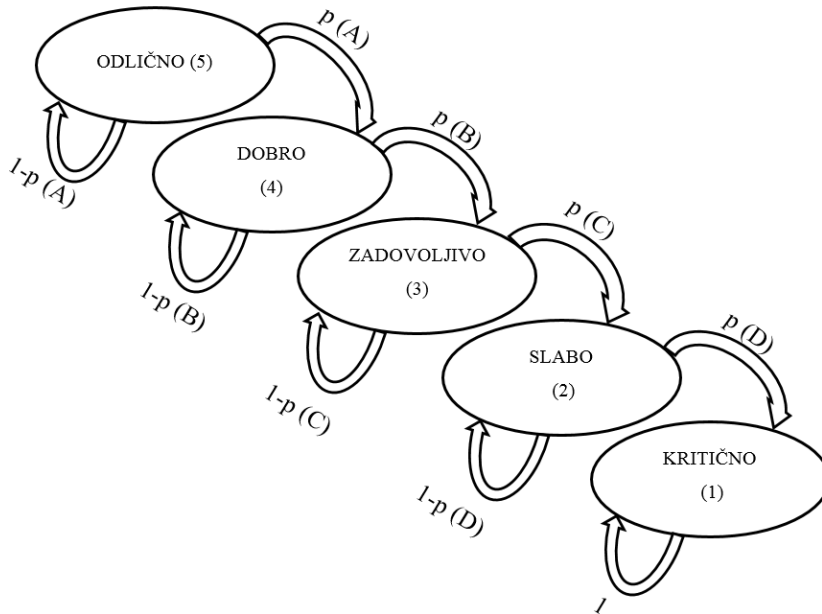
p^{ij} ... verjetnost prehoda iz stanja i v stanje j v času ene časovne periode

Matrika (3) predstavlja splošno obliko prehodne matrike, ki jo lahko za obravnavan primer precej poenostavimo. Za objekte, kjer ne načrtujemo prenove, je verjetnost izboljšanja stanja enaka nič. Poleg tega predpostavimo še, da se v eni sami prehodni enoti lahko stanje objekta poslabša največ za eno stopnjo.

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

$$= \begin{bmatrix} p(A) & 1-p(A) & 0 & 0 & 0 \\ 0 & p(B) & 1-p(B) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & p(C) & 1-p(C) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & p(D) & 1-p(D) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Dobimo matriko dimenzije 5, kjer diagonalni členi ($p(A)$, $p(B)$, $p(C)$, $p(D)$, $p(E)$) predstavljajo verjetnosti, da se posamezno stanje ne bo spremenilo. Ostali členi matrike izražajo verjetnost, da se trenutno stanje spremeni ravno za eno stopnjo. Zadnji člen matrike predstavlja najslabše stanje objekta. V primeru, da zanj ni predvidene obnove, je verjetnost, da tak tudi ostane, enaka 1. Za boljšo predstavbo delovanje matrike je na sliki 2 prikazan diagram diskretnih časov Markove verige, ki prikazuje kakšna je verjetnost, da se trenutno diskretno stanje spremeni oziroma ostane isto.



Slika 2: Graf diskretnih stanj prehodne matrike

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

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

Vektor stanja \mathbf{S}_{t+1} je stanje po preteku ene prehodne periode glede na referenčno stanje \mathbf{S}_t in ga izračunamo s pomočjo izraza:

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

Za modeliranje propadanja objekta potrebujemo prehodno matriko, ki jo določimo na podlagi empiričnih podatkov. Prehodno matriko kalibriramo z iterativnim postopkom, da čim boljše opiše prognozo obnašanja objekta (Jamnik, 1987).

5 PROPADANJE ARMIRANEGA BETONA

Propadanje gradbenih materialov v obravnavani konstrukciji je težko opisati z merljivimi količinami, zato običajno opišemo to kompleksno fizikalno kemijsko dogajanje z življenjsko dobo konstrukcije. Pri tem definiramo življenjsko dobo kot čas od izgradnje, do časa, ko konstrukcija še ustreza zadovoljivim pogojem varnosti, zanesljivosti in uporabnosti. Mehanizmi propadanja so raznovrstni, včasih medsebojno povezani fizikalno kemijski procesi, ki spreminjajo lastnosti materiala ali celotnega gradbenega elementa. Gre za kompleksne mehanizme, ki so rezultat številnih vplivov in jih je težko identificirati, vendar so ključnega pomena pri ugotavljanju stanja objektov (Žnidarič, 1996).

Obravnavani nadvozi so vsi armiranobetonski, zato se v nalogi osredotočamo na propadanje armiranega betona. Mostovi sodijo v tem pogledu med najbolj kritične objekte, saj so pozimi oziroma pri nizkih temperaturah izpostavljeni cikličnemu zmrzovanju in taljenju v prisotnosti soli (Šelih, 2010). Ta okoljski vpliv sodi v primeru armiranobetonskih konstrukcij med najbolj agresivne. Trajnost betonov je poleg subjektivnih napak pri projektiranju, proizvodnji in uporabi betona v veliki meri odvisna od zunanjih vplivov, zato pri projektiranju betonske mešanice upoštevamo deformabilnost, trdnost in občutljivost betona na zunanje vplive. Nadaljnje namenimo posebno pozornost geometriji prerezov oziroma načinu oblikovanja detajlov konstrukcije, ki so občutljivi na agresivne vplive. Posledice propadanja se lahko kažejo v notranjosti ali na površini betonskega elementa. Običajne znake poškodb lahko zelo hitro prepoznamo, vendar lahko nekatere identificiramo šele, ko proces propadanja že zelo napreduje.

S pravilno identifikacijo okoljskih vplivov ter posledično ustrezno sestavo betonske mešanice, ki se vgradi po vnaprej določenem postopku, zagotovimo, da bo betonska konstrukcija obdržala željene lastnosti brez posebnega vzdrževanja v celotni življenjski dobi. Žal praksa kaže, da je takšnih konstrukcij relativno malo. Največkrat so betonske konstrukcije izpostavljene prehitremu procesu propadanja in posledično potrebujejo stalna popravila in draga vzdrževanja (Šelih, 2003).

5.1 Razlogi propadanja armiranega betona

Propadanje betona je posledica prodiranja agresivnih snovi v porozno strukturo betona, zaradi fizikalnih procesov vpijanja, difuzije in tečenja pod pritiskom. Omenjen mehanizem imenujemo korozija. Poteka lahko le ob prisotnosti vode oziroma vlage v porah cementnega kamna. Gre za proces propadanja, pri katerem se spreminjajo kemijske, fizikalne in mineraloške značilnosti agregata in cementnega kamna. Degradacija materiala se kaže kot poškodba strukture in poslabšanje mehanskih lastnosti betona. Stopnja agresivnosti je odvisna od:

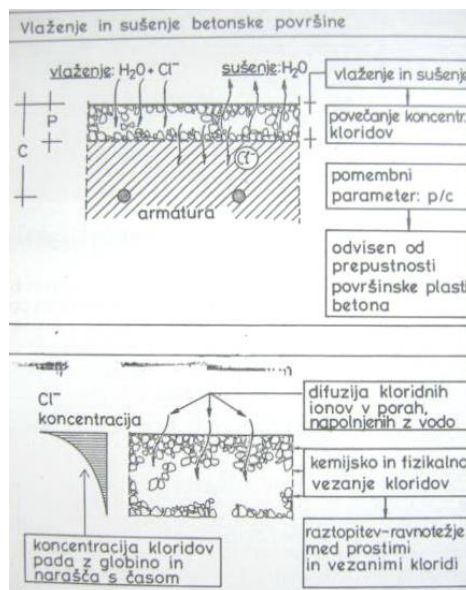
- vrste in koncentracije agresivne snovi,

- hitrosti toka vode, ki vsebuje agresivne snovi in izplakuje sestavine cementnega kamna ter apna iz porne vode,
- pogoste menjave vodostaja, ker prihaja po vsakem umiku vode do povečane koncentracije agresivnih snovi,
- trajanja delovanja agresivnega okolja,
- enostranskega pritiska vode na gradbeni element, kar pospešuje vnos agresivnih snovi,
- dviga temperature v betonu, ki pospeši kemične procese,
- srednje debeline betonskega elementa, ki je določena kot razmerje med njegovo prostornino in površino izpostavljeno agresivnemu vplivu.

Intenzivnost procesov difuzije, tečenja in vpijanja je odvisna od sistema por in količine vode v njih. Pore v betonu razdelimo na pore v agregatu, gelne in kapilarne pore v cementnem kamnu ter pore na prehodnem območju, na stiku večjih zrn agregata in cementnega kamna. Vsebnost kapilarnih por v betonu je odvisna od vodocementnega razmerja. Večja količina kapilarnih por v betonu rezultira v večji prepustnosti in posledično zmanjšani odpornosti na korozijo. Vpliv na korozijo imata tudi vodocementno razmerje in stopnja hidratacije, ki je odvisna od starosti in nege betona. Nadalje vpliva na trajnost betona lokalno povečanje deleža por in mikrorazpok v območju stika med agregatnimi zrni in cementnim kamnom (Prokopski, Halbiniak, 2000).

Procese penetracije skozi beton opišemo z naslednjimi fizikalnimi pojavi (Telford, 1992):

- Difuzija je gibanje snovi skozi beton, zaradi kemičnega, vlažnostnega ali temperaturnega potenciala. Značilna primera gibanja snovi skozi beton po zakonu difuzije sta difuzija klorovih ionov in karbonizacija zaradi prostega CO₂ v zraku (3).
- Vpijanje ali absorpcija je odvisna od kapilarne poroznosti in je sorazmerna koeficientu kapilarnega vpijanja.
- Tečenje pod pritiskom.
- Transportni mehanizem vlage iz naravnega okolja, ki omogoča transport in vstop vode v strukturo betona oziroma cementnega kamna. Ti transporti so v primeru vlažnega zraka prodiranje vodnih hlapov iz okolice z difuzijo, v primeru dežja kapilarno sesanje in difuzija ter v primeru potopljenega betona kapilarno sesanje in hidravlični pritisk.



Slika 3: Prodiranje kloridov v beton z difuzijo (Žnidarič, 1996)

Agresivni vplivi na beton so lahko:

- mehanski,
- fizikalni,
- kemični in elektrokemični in
- biološki.

5.1.1 Mehanski vplivi

Odpornost betona na mehanske vplive je zelo nizka. Za povečanje odpornosti se uporabi agregat odporen na obrus, ter nizko vodocementno razmerje. Uporabi se čim manj cementa, saj ima cementni kamen zelo majhno odpornost na abrazijo. Mehanski agresivni vplivi so (Telford, 1992):

- abrazivni učinki, drsečih, udarjajočih in kotalečih se predmetov, saj se obrabi površina,
- udarci, zaradi katerih se odlomijo deli elementa,
- kavitacija zaradi tekoče vode, zaradi vrtnicev v vodi nastane podtlak na površini betona,
- preobremenitev nosilnosti prereza oziroma ciklična preobremenitev – upogib, strig, nateg...

5.1.2 Fizikalni vplivi

5.1.2.1 Vpliv cikličnega zmrzovanja in odtajanja betona

Na območjih, kjer zapade veliko snega, so premostitveni objekti oziroma materiali, iz katerih so zgrajeni, izpostavljeni nizkim temperaturam in soljenju. V primeru masivnih objektov povzroči talilna

sol v kombinaciji z zmrzovanjem luščenje izpostavljene plasti betona. Ustrezno projektirana betonska mešanica vsebuje pravilno izbiro agregatov in dodatkov, izdelani betonski element pa je ob ustrezno predpisani obdelavi odporen na kombinacijo vplivov zmrzovanja in talilne soli.

Za zimsko vzdrževanje cest se za določeno temperaturno območje najpogosteje uporabljajo soli, podane v preglednici 8.

Preglednica 8: Temperaturni intervali, znotraj katerih so posamezne talilne soli na cestiščih učinkovite (Jayapalan, 2007)

Talilna sol	Temperaturno območje [°C]
Natrijev klorid (NaCl)	od -11
Magnezijev klorid (MgCl ₂)	od -24
Kalcijev klorid (CaCl ₂)	od -25

5.1.2.2 Hidravlični pritisk

Pod vplivom zmrzovanja poveča voda v kapilarnih porah betona svoj volumen za približno 9%. V primeru, da je volumen pore dovolj velik za zmrznjeno vodo, hidravlični pritisk nima posebnega učinka. Če je nasičenost pore z vodo visoka, se ob nastanku ledu v pori povečajo pritiski na steno pore, kar povzroči razpoke v betonu. Ker je cementna pasta prepusten material, obstaja možnost, da med procesom zmrzovanja presežek ledu iz pore preide v bližjo nezapolnjeno zračno poro. Led, ki penetrira v zračno poro, jo pri procesu taljenja lahko tudi zapusti zaradi ustvarjenega zračnega pritiska. Omenjen proces je odvisen od zračnega pritiska, velikosti zračne pore, dolžine razpoke, stopnje zmrzovanja, strukture ledu in zasičenosti cementne paste. Povzročitev razpok poveča propustnost materiala, tako da pri naslednjih ciklih zmrzovanja/odtajevanja, beton vpija novo vodo, ta ponovno zmrzne in povzroči dodatne pritiske. Do poškodb v obliki lomljenja pride pri kritični zasičenosti por z vodo, to je stanje, v katerem pride do določene zasičenosti por z vodo. Kritična zasičenost je odvisna od sestave betona in pogojih zmrzovanja. Beton, nasičen z vodo, mraz zelo hitro poškoduje, medtem ko suhemu betonu nizke temperature skoraj ne škodujejo. Pogosto se to dogaja mladim betonom, ki vsebujejo veliko proste vode. V takšnem primeru povzroči zmrzovanje luščenje površinskega sloja (Telford, 1992).

5.1.2.3 Osmotski pritisk

Osmotski pritisk je lahko še en razlog za nastanek razpok v cementni pasti. Gre za rezultat delnega zmrzovanja raztopin v porah. Voda v porah ni čista in vsebuje topne primesi. Posledično ima taka raztopina malo nižjo temperaturo ledišča kot čista voda. Kadar sta dve raztopini z različno koncentracijo

primesi ločeni s prepustno vodno bariero, se raztopina z manjšo koncentracijo primesi, premakne skozi bariero proti raztopini z večjo koncentracijo primesi. Prisotnost talilne soli na betonu povzroči transport vode iz notranjosti betonskih elementov k površini in s tem ohranjanje kritične nasičenosti betona ali/in agregata z vodo (Malhotra, 2005).

5.1.2.4 Mehanizmi luščenja plasti pod vplivom hidravličnega in osmotskega pritiska

Poleg hidravličnega in osmotskega pritiska obstajajo še drugi pojavi, ki ob prisotnosti talilne soli povzročijo luščenje izpostavljenih plasti (Malhotra, 2005).

5.1.2.4.1 Zmrzovanje plasti za plastjo

Različne koncentracije talilne soli v betonu vodijo do razlik pri temperaturah zmrzovanja posamezne plasti. Ob formiranju ledu v vsaki plasti posebej se pojavijo napetosti, ki so odvisne od velikosti dilatacije med zmrznjeno in nezmrznjeno plastjo (Malhotra, 2005).

5.1.2.4.2 Termalni šok

Za taljenje ledu in snega je potrebna energija. Taljenje na površini betona pospešimo s kemičnimi snovmi. Nenadno znižanje temperature na površini betonskega elementa povzroči v njegovi notranjosti velike spremembe temperaturnega gradienta, ki lahko povzročijo nastanek kratkotrajnih napetosti v bližini površine. Tako nastale natezne napetosti povzročijo na betonu deformacije in razpoke (Malhotra, 2005).

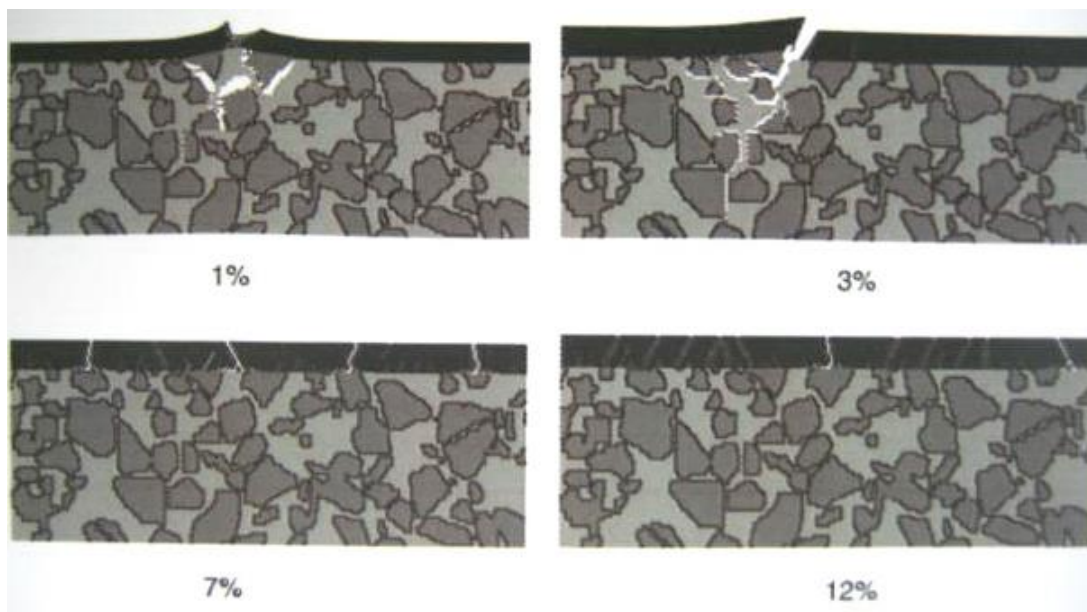
5.1.2.4.3 Efekt podhlajene tekočine

Beton je porozen material, katerega pore so delno ali polno zasičene z vodo. Do efekta podhlajene tekočine pride, če pora tekočina ne zmrzne kljub temu, da je njena temperatura pod lediščem. Podhlajena tekočina blizu površine lahko zmrzne, kar lahko vodi k večjim deformacijam, kot so prisotne pri običajnem zmrzovanju (Malhotra, 2005).

5.1.2.4.4 Zmrzovanje s prisotnostjo soli za odtajevanje

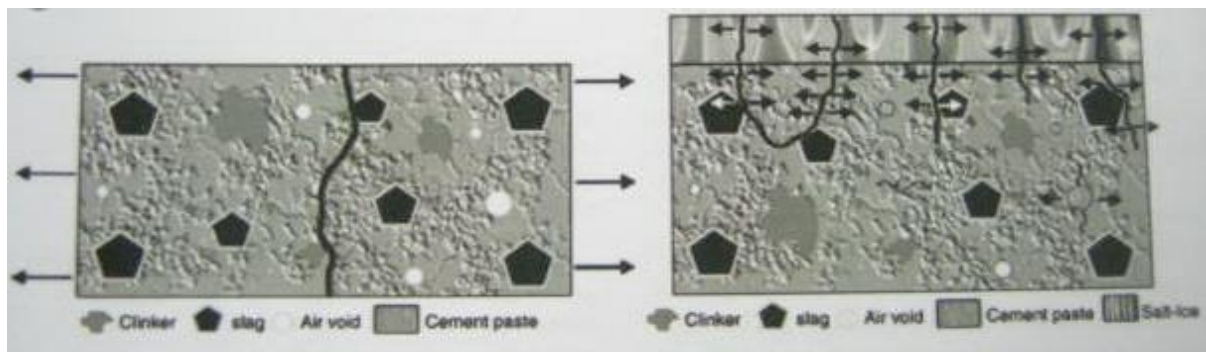
V Sloveniji nastopi ta pojav najbolj pogosto v zimskem letnem času, ko pri nizkih temperaturah posipavamo ceste s soljo. Propadanje armiranobetonskega elementa se kaže v obliki luščenja na površini betona in korozije armature. Reakcija betona s talilno soljo je v veliki meri odvisna od vrste cementa, agregata, starost betona, razporeditve vode, oblike betonskih elementov in hitrosti zmrzovanja oziroma odtajevanja. V današnjem času so za simulacijo tega mehanizma na voljo numerični modeli propadanja materialov na cementni osnovi, ki upoštevajo tudi vpliv karbonizacije, mikrostrukture, mehanskih

lastnosti betona in različne razmere ob zmrzovanju (Telford, 1992). Rezultati raziskav so pokazali, da je velikost nastale natezne sile odvisna od koncentracije slanice, ki je podvržena zmrzovanju, pri čemer je empirično in teoretično dokazano, da povzroči največje poškodbe betona koncentracija 3%-ne raztopine soli (Šelih, 2010). V tem primeru led prenese večjo natezno silo, ki jo prenese tudi na beton in povzroči luščenje betona (slika 4). V primeru višje koncentracije je ledena plast premehkka za nastanek poškodb na betonu.

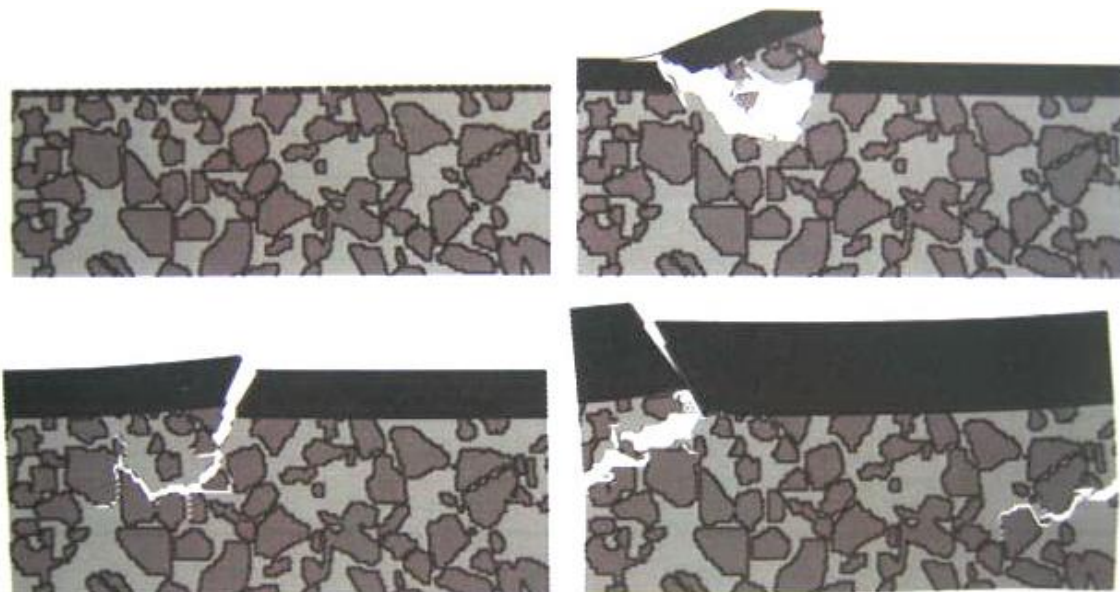


Slika 4: Numerično modeliranje vpliva koncentracije slanice (1, 3, 7 in 12%) na poškodbe zaradi zmrzovanja (Çopuroğlu, 2008)

Nastanek nateznih sil zaradi ledu na površini prikazuje slika 5. Debelina ledene ploskve ima velik vpliv na velikost nateznih sil. Z večanjem debeline ledene plasti naraščajo tudi poškodbe. Na sliki 5 je prikazan vpliv različnih debelin ledenih plasti (1mm, 3mm, 5mm, 10mm) (Malhotra, 2005).



Slika 5: Shematični prikaz cementnega kamna pod vplivom globalne natezne sile in sile zaradi nastanka razpok v ledu (Çopuroğlu, 2008)



Slika 6: Vpliv debeline ledenega sloja (1, 3, 5 in 10 mm) na velikost poškodbe betona (Çopuroğlu, 2008)

5.1.3 Kemični in elektrokemični vplivi

5.1.3.1 Korozijski vplivi

Kemijska korozijska je izmenjava snovi med betonom in okoljem, pri čemer agresivne snovi prodrejo v beton v obliki vodne raztopine in ob stiku reagirajo. Rezultat reakcije je korozijska, ki močno spremeni lastnosti betona. Alkalni cementni kamen je vzrok neobstočnosti betonov v kislinah. Korozijsko odpornost cementov izražamo z Vicatovim indeksom, ki je razmerje med bazičnimi in kislimi spojinami, ki sestavljajo cementne minerale (Malhotra, 2005):

$$I = \frac{SiO_2 + Al_2O_3}{CaO + MgO} \quad (7)$$

Višji kot je Vicatov indeks, višja je odpornost cementnega kamna na korozijsko. Za običajni portland cement je značilno, da ima Vicatov indeks manjši od 0,5, ki pa ga z dodajanjem pucolana in žindre lahko zvišamo.

Sulfatna korozijska je ena najpogostejših oblik korozijskega betona. Vpliv sulfatov povzroči nabrekanje in pukanje betona, kar je posledica nabrekajočih produktov kemijskih reakcij pri tej vrsti korozijske. Študije so pokazale, da lahko ta vrsta korozijske v primeru visoke vsebnosti sulfatov v agregatih (> 0,5 %) povzroči resne poškodbe v betonu. Korozijska sulfatnih raztopin je v veliki meri odvisna od kemijske sestave betona. Glavni vzrok neobstočnosti betonov je tvorba etringita, ki ima večji specifični volumen

kot originalni materiali. Zaradi tvorbe etringita beton nabreka in od znotraj ruši strukturo cementnega kamna in betona (Malhotra, 2005).

Najboljši ukrep za preprečitev reakcije s sulfatom je izdelava betona zelo majhno prepustnostjo. Ustrezno projektno mešanico betona lahko dosežemo z nizkim vodocementnim razmerjem in z zmanjšanjem deleža cementnega minerala C3S (dodatek žlindre in pucolana). Nadalje uporabimo razne dodatke k cementu, kot so super plastifikatorji, primerno konsolidacijo mešanice in ustrezno nego betona. Prav tako lahko cementni kamen zaščitimo z izolacijskimi sredstvi, ki ne reagirajo s snovmi v agresivnem okolju. Američani so reakcije betona s sulfatom razdelili na štiri stopnje (Malhotra, 2005):

- **Zanemarljiv vpliv**, ko je vsebovanost sulfatov v agregatu manjša od 0,1 % ali manjša od 481 mg/l v vodi. V tem primeru ni nobenih omejitev V/C razmerja oziroma uporabe cementa.
- **Blag vpliv**, ko je vsebnost sulfatov v agregatu 0,1 - 0,2 % ali 150 – 1500 mg/l v vodi. Projektna betonska mešanica naj ima $V/C < 0,5$ za betone normalne gostote. Uporabi naj se portland cement z manjšo hidratacijsko toploto.
- **Močan vpliv**, ko je vsebovanost sulfatov v agregatu 0,2 – 2 % ali 1500 – 10000 mg / l v vodi. Projektna betonska mešanica naj ima $V / C < 0,45$. Uporabi naj se portland cement odporen na sulfate.
- **Zelo močan vpliv**, ko je vsebovanost sulfatov večja od 2 % v agregatu ali večja od 10000 mg / l v vodi. Projektna betonska mešanica naj ima $V/C < 0,5$ za betone normalne gostote. Uporabi naj se portland cement odporen na sulfate z dodatkom pucolana.

Agregat v betonu ni inerten, temveč v nekaterih primerih reagira z ostalimi prisotnimi snovmi. Obstajata dve vrsti reakcij: reakcija bazičnega kremenca in reakcija bazičnega ogljika. Najpogostejša je reakcija bazičnega kremenca, ki poteka med hidroksilnimi (OH-) ioni in bazami (Na_2O in K_2O) cementa oziroma morebitna prisotnost teh baz v agregatu. Kot rezultat te reakcije dobimo bazični kremenski gel, ki zelo močno nase veže vodo. Posledica reakcije je povečanje volumna in nastanek notranjega pritiska, dovolj velikega za nastanek razpok v okolici reakcije (Malhotra, 2005).

Uporaba agregatov, ki ne reagirajo, zgoraj opisane reakcije ne sproži. Večina kamenih agregatov v stiku z ogljikom reagira, obseg reakcije pa je odvisen od pogojev izpostavljenosti in stopnje bazičnosti betonske mešanice. Tako imenovani nereaktivni agregati se uporabljajo pri gradnji zelo zahtevnih objektov, kjer so varnostne zahteve izjemno visoke, kot naprimer pri gradnji jedrskih elektrarn in naftnih

ploščadi na morju. Raziskave so pokazale, da lahko reakcijo bazičnega agregata z uporabo cementa z nizko bazičnostjo ($\text{Na}_2\text{O} < 0.6\%$) zaustavimo (Malhotra, 2005).

Mehke vode raztapljajo in izpirajo prosto apno in s tem znižujejo trdnost cementnega kamna. Na površini betona se pojavijo beli madeži. Pojav karbonizacije površinskih plasti cementnega kamna, ki je sicer škodljiv pojav zaradi izgubljanja njegove bazičnosti, zavira raztapljanje in izpiranje prostega apna, saj to prehaja v apnenec (Žarnić, 2005).

Ogljikova kislina se pogosto nahaja v mineralnih vodah. Take vode reagirajo s prostim apnom in spirajo produkte reakcije (kalcijev karbonat), ki je topen v vodi (Žarnić, 2005).

Kislina se nahajajo v odpadnih vodah ali pa nastanejo z raztapljanjem plinov iz onesnaženega zraka. Eden izmed možnih korozijskih pojavov je reakcija prostega apna v cementnem kamnu in kislina ter nastajanja v vodi topnih snovi, ki jih voda spira in s tem povzroča nastanek votlin v cementnem kamnu. Druga škodljiva reakcija je nabrekanje cementnega kamna zaradi nabrekanja, ki ga povzroča kalcijev karbonat (Žarnić, 2005).

Magnezijeve spojine so prisotne v morski vodi in mineralnih vodah. Reagirajo s prostim apnom v cementnem kamnu. Produkti reakcij so topni v vodi, ki jih le ta spira in s tem povzroča nastanek votlin v cementnem kamnu (Žarnić, 2005).

Fosfatna in dušikova gnojila prehajajo v podtalnico ali površinske vode, ki v stiku s cementnim kamnom reagirajo. Superfosfat reagira s sadro in pri tem nastane prosta fosforna kislina. V dušikovitih gnojilih se nahajata amonijev sulfat in amonijev nitrat, ki reagira s prostim apnom v cementnem kamnu. Produkti reakcij so topni v vodi, kar povzroči porušitev strukture cementa (Žarnić, 2005).

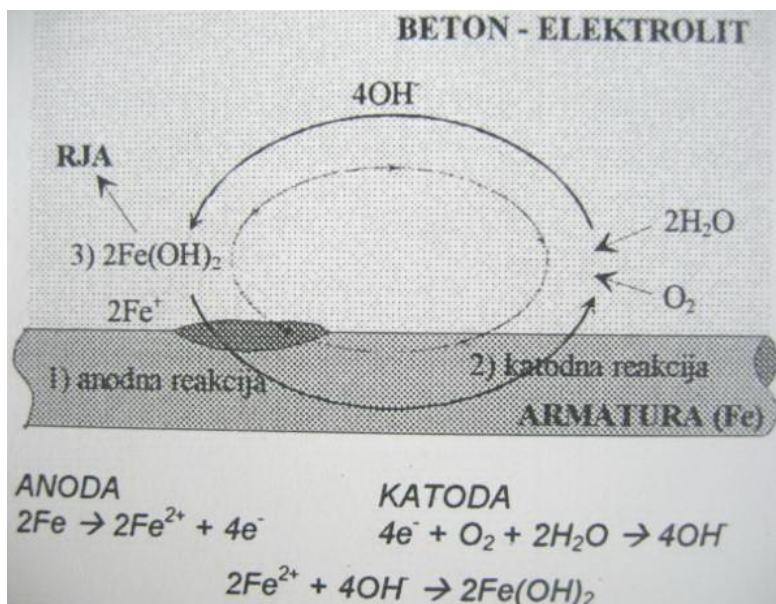
Organske snovi, kot so očetna, mlečna in vinska kislina, maščobe s stearinsko kislino, fenol in podobne snovi, reagirajo z minerali cementnega kamna in s tem povzročajo njegovo korozijo (Žarnić, 2005).

Količina ogljikovega dioksida, ki se nahaja v zraku, je odvisna od obsega industrijskih dejavnosti v bližini objekta. CO_2 prodira skozi beton in reagira z vodo. Rezultat kemijske reakcije je ogljikova kislina, ki razgrajuje kamnino, pod pogojem, da je pH vrednost okoli 6. Vpliv seže do globine 15 – 20 mm. Posledice so nižje geotehnične lastnosti kamnin in vpad pH vrednosti. Opisani proces, karbonizacija, je bolj kot za beton škodljiva za armaturo, zato je zahtevan zaščitni betonski sloj debeline 30 – 50 mm (Malhotra, 2005).

5.1.3.2 Korozija armature

Beton je alkalen material, saj je pH vrednost porne tekočine večja od 12. Omenjena lastnost betona nudi zaščito jekleni armaturi. Na površini jekla se ustvari tanek sloj železovih oksidov (pasivni film), ki ščiti armaturo pred iniciacijo korozijskih procesov. Skrbno projektiranje betona, ki temelji na temeljitem poznavanju okolja, ki mu bo beton izpostavljen, zagotovi pogoje, ki zagotavljajo, da se korozija ne pojavi kljub prisotnosti kisika in vlage. Zaščitni pasivni film okoli armature je stabilen, dokler pH vrednost betona okoli armature ne pade pod 12.

Elektrokemijska korozija je proces delovanja galvanskega člena. Zanj potrebujemo elektrolite, ki jih predstavljajo kisline ali soli, raztopljene v porni vodi. Zaradi različne koncentracije elektrolitov v porni vodi se pojavijo anodna in katodna mesta na armaturi, tvori se galvanski člen (slika 7) (Likar, 2006).



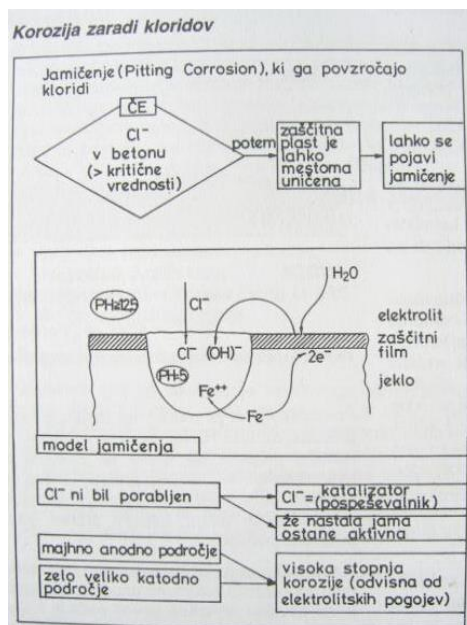
Slika 7: Shematski prikaz elektrokemijske korozije armature v betonu (Žnidarič, 1996)

Pred začetkom elektrokemijske korozije armature v betonu morajo biti izpolnjeni naslednji pogoji (Žnidarič, 1996):

- katoda in anoda morata biti ločeni, prisotna more biti razlika v potencialih;
- katoda mora imeti na voljo dovolj kisika, ki od zunaj pride do armature z difuzijo;
- omogočen mora biti tok ionov, na površini jekla med katodo in anodo, prek jekla in vlažnega betona.

Kloridna korozija je korozija armaturnega jekla zaradi prodora kloridnih ionov skozi porozno strukturo betona. Proces se začne, ko popusti pasivna zaščita, kar vodi k tako imenovani jamičasti koroziji. Izguba zaščite in nevarno delovanje se pojavita pri določenem razmerju koncentracije med kloridnimi in

hidroksilnimi ioni, s prisotnostjo kisika in vlage. Na površini jekla nastanejo velike katodne površine in zelo majhna anodna območja, na katerih je pasivna zaščita prenehala. Klorovi ioni, ki prodrejo skozi porozno strukturo betona, reagirajo ob stiku z armaturo in vodo, tako da nastane galvanski člen. Pri reakciji se kloridi ne porabijo v celoti, temveč ostanejo in kloridna korozija se lahko nemoteno širi. Korozijski proces poteka in se širi v jamici, posledično zmanjšuje prerez armaturne (slika 8) (Žnidarič, 1996).



Slika 8: Difuzija klorovih ionov v betonu in nastanek kloridne korozije (Žnidarič, 1996)

Prisotnost kloridov v betonu poveča higroskopičnost, posledično se poveča vlažnost in zmanjša električna upornost. Tako se beton nikoli v celoti ne posuši, kar omogoča pogoje za nastanek korozije. Znaki za nastanek kloridne korozije se pojavijo na površini šele, ko se je proces že zelo razvil. Kloridi povzročajo depasivacijo tudi v visoko alkalnem betonu. Zaradi teh dveh razlogov je kloridna korozija veliko nevarnejša od elektrokemijske korozije. Rezultat korozijske reakcije so korozijski produkti v obliki oksidov ali hidroksidov, njihova prostornina pa je lahko do šest krat večja od prostornine železa, ki je sodeloval v reakciji. Povečanje specifične prostornine povzroči razpoke betona. V takšnem betonu prodirajo kloridi in karbonizacija veliko hitreje kot v nerazpokanem. Razpoke se zapolnijo z umazanijo, rjo ter kalcijem, zato za obstojnost konstrukcije še niso nevarne (Žnidarič, 1996).

5.1.4 Biološki vplivi

V vlažnem okolju je beton primeren substrat za rast vegetacije, mikroorganizmov in makro organizmov, kot so na primer školjke. Površinska poroznost betonske strukture omogoča zadrževanje vode v mikro in makro porah, ki so kot nekakšna epruveta za razvoj korenin vegetacije. Školjke imajo izredno prodorno moč in s svojimi koreninami utirajo pot v notranjost betona. V beton prodirajo na dva načina:

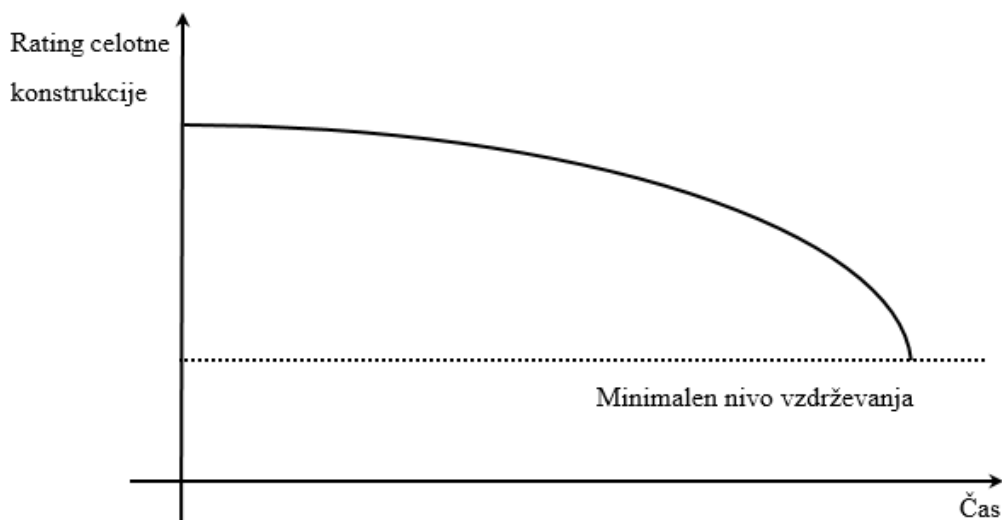
z jemanjem snovi iz betona, ki jih uporabljajo za svojo presnovo, ter z zelo visokofrekvenčnimi vibracijami, s katerimi si utirajo pot. Na gosto posejane korenine povzročajo drobljenje betona. Nevarnosti ne smemo zanemariti, saj je armatura tedaj še hitreje dostopna. Različni organizmi lahko s svojimi koreninami segajo tudi do 50 cm v notranjost betona. Nekateri organizmi, ki za svoje delovanje potrebujejo žveplo, lahko povzročijo nastajanje sulfatov in žveplene kisline, kar privede do delovanje kemijske korozije (Likar, 2007).

6 MODELIRANJE PROPADANJA NADVOZOV

Opazovanja objektov med uporabo in izpostavljenostjo agresivnim vplivom okolja kažejo, da sčasoma hitrost propadanja gradbenega objekta praviloma narašča (slika 9). Posledično se stanje objekta slabša vse hitreje in potrebna je sanacija.

Propadanje obravnavanih nadvozov smo modelirali na podlagi petih opravljenih pregledov. Rezultat pregleda je rating celotnega objekta, ki je sestavljen iz posameznih delov, kot je opisano v razdelku 4.2. Na voljo smo imeli podatke pregledov iz leta 1993, 2002, 2003, 2005 in 2007. Hitrost propadanja določamo s pomočjo izraza (8), tako da smo ratingu iz zadnjega pregleda odšteli starejši rating (predzadnjega pregleda) in delili z razliko let med pregledoma. Tako smo dobili za vsak nadvoz štiri hitrosti propadanja. Rezultanta hitrosti propadanja je predstavljala povprečno vrednost vseh štirih hitrosti, saj so bili nekateri nadvozi v času med izbranimi pregledi tudi sanirani. Podrobneje je modeliranje propadanja opisano v prilogi A.

$$v(t) = \frac{R(t) - R(t - 1)}{\Delta t} \quad (8)$$



Slika 9: Shematičen prikaz hitrosti propadanja armiranobetonske konstrukcije

7 RAZVOJ ODLOČITVENEGA MODELA

Za izdelavo načrta vrstnega reda sanacij potrebujemo informacije o trenutnem stanju objektov. Najboljše je, če jih hranimo v dobro urejeni zbirki podatkov, ki omogoča uporabniku preprosto rokovanje.

Ustrezno zasnovana podatkovna zbirka je sestavljena iz večjega števila komponent, ki predstavljajo štiri nivoje (slika 12). Najvišji nivo zajema opis posameznih avtocestnih odsekov, nivo niže vsebuje tabelo z opisi posameznih nadvozov kot celote. Tretji nivo sestavljajo podatke o konstrukcijskem sklopu, v najnižjem nivoju so podatki o posameznih komponentah nadvozov.

7.1 Kriterij propadanja kot ključno sodilo za model izbire nadvozov

Gradbeni objekti so grajeni z namenom, da služijo svoji funkciji skozi svojo čim daljšo življenjsko dobo. To velja tudi za izbrane avtocestne nadvoze, ki morajo svojemu namenu služiti nepretrgoma. Hitrost propadanja smo na podlagi celotne diplomske naloge identificiral, kot nekakšno prognozo stanja objektov. Saj smo z ocenami predhodnih pregledov in ocene trenutnega stanja določili kako hitro objekt propada. Odločitev za izbiro tega kriterija temelji na osnovi, da je upravljanje objektov preišljeno delo, ki smotrno upošteva prihodnost infrastrukture. Kriterij smo vključili v večkriterijski model odločanja Anžejja (Kne, 2007) in tako razširili njegovo diplomsko delo z zelo pomembnim sodilom. Del odločanja večkriterijskega modela tako opiše ozir na prihodnost. Temeljni postopek izračuna smo povzeli po Knetu (2007). Z uporabo metode AHP smo določili medsebojno pomembnost med kriteriji na podlagi strokovnega mnenja in nato z metodo nahrbtnika določili skupino nadvozov primernih za sanacijo.

7.2 Določanje vrstnega reda vzdrževalnih in obnovitvenih del

Optimalno upravljanje cestne infrastrukture je zelo zahtevno delo. Upravljanje velikega števila objektov v določenem časovnem obdobju odpira možnost uporabe več različnih prednostnih seznamov objektov, ki jih bomo v tem obdobju prenovili. Izdelava prednostnega seznama je odvisna v veliki meri od kriterijev, ki jih v odločanju uporabimo. Zato je preišljena izbira kriterijev ter njihova razvrstitev po pomembnosti izjemno pomembna. Določanje prednostnega seznama objektov, ki jih bomo obnovili, je optimizacijski problem, pri reševanju katerega se moramo zavedati, da model ne bo zadostil vsem zahtevam v celoti. Z vidika upravljavca nas zanima predvsem, kako uporabiti razpoložljiva finančna sredstva, da bo učinek oziroma izplen kar največji. Zato moramo vedeti, kateri kriteriji so za nas relevantni in kako vrednotimo njihovo medsebojno pomembnost.

7.3 Metodologija odločanja

Naš cilj je izbrati med več možnosti tisto, s katero se najbolj približamo zastavljenemu cilju. Postopek izbire/odločanja mora biti določen vnaprej in utemeljen. Pri tem se pogosto srečamo z naslednjimi izzivi:

- veliko število specifičnih dejavnikov, ki vpliva na odločitve,
- številne, pogosto slabo definirane variante,
- nepopolno poznavanje odločitvenega problema, ciljev in zahtev odločitve,
- obstoj večjega števila konfliktnih določevalcev in
- omejen čas in podatki za izvedbo določenega procesa (Jereb in soavtorji, 2003)

Najprimernejša metoda je več parametrsko določanje, ki je teoretično utemeljena in primerna za različne namene.

Model za večkriterijsko odločanje temelji, kot že pove ime, na več kriterijih. Največkrat ti kriteriji za odločevalce niso enako pomembni, zato uporabimo za določanje njihove medsebojne pomembnosti metodo AHP («analytical hierarchy process») (Saaty, 1990). S to metodo pripišemo posameznim kriterijem različno pomembnost. Natančnost rezultata je pogosto odvisna od natančnosti določitve uteži posameznih kriterijev. V našem primeru bom skozi celoten postopek ovrednotil posamezne variante glede na vnaprej določene kriterije. Vsota parcialnih koristi predstavlja skupno korist obravnavane variante. Alternativa, ki doseže največjo korist, je tista, ki ustreza uporabljenemu večkriterijskem modelu.

7.4 Več parametrsko določanje

Večparametrsko določanje deluje tako, da glavni problem razčlenimo na posamezne probleme oziroma parametre. Najprej vsako varianto obravnavamo v odvisnosti enega samega parametra in jo ocenimo. Potem s postopkom združevanja posameznih ocen določimo končno korist. Varianta z največjo koristjo, je praviloma najboljša glede na uporabljene parametre oziroma glede na njihovo kombinacijo (Jereb in soavtorji, 2003).

Opis pojmov:

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

Korist Y je končni rezultat več parametrskega računskega modela. Vsaki obravnavi variant določimo vrednost Y ; tisto varianto, ki doseže najvišjo korist, pa smatramo za najbolj ustrezno.

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

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

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

Kazalniki q_{ij} ($i = 1 \dots n$; $j = 1 \dots m$) 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 ($j = 1 \dots m$)

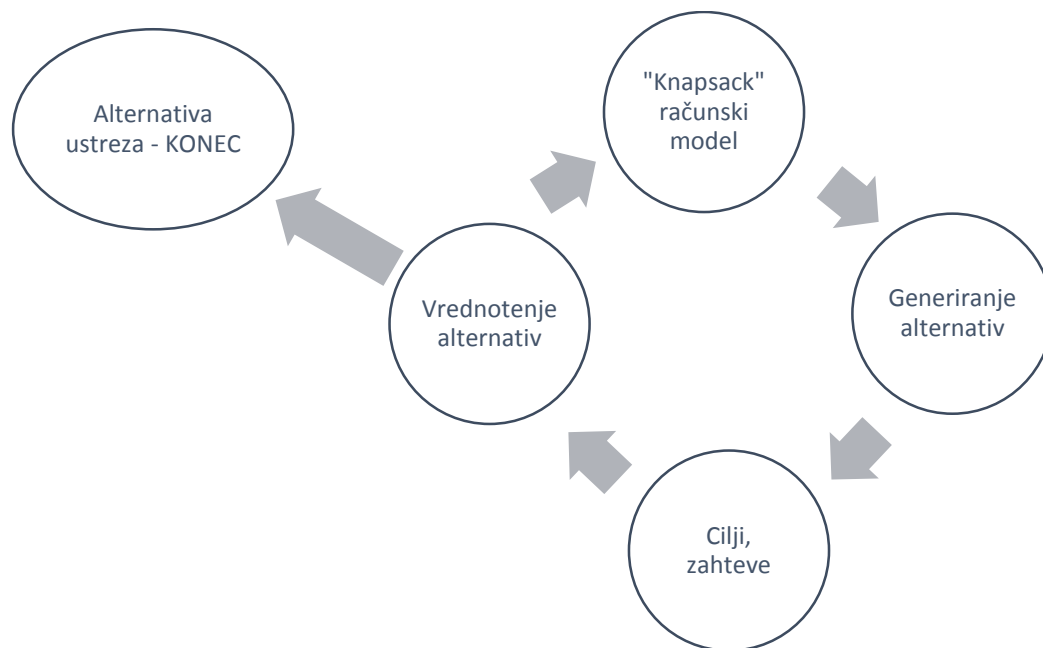
Delna korist je korist na nivoju parametrov.

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).

7.5 Računski model določanja na osnovi metode nahrbtnika («knapsack model»)

Ena izmed optimizacijskih metod je metoda nahrbtnika («knapsack model»). Metodo lahko ilustrativno opišemo s planincem, ki ima nahrbtnik z omejeno prostornino, kamor želi spraviti najpomembnejše stvari za na pot. Vsak predmet, ki ga želi vzeti s seboj, ima zanj določeno vrednost. Cilj metode je izbira nabora predmetov, ki jih damo v nahrbtnik, tako, da je njihova skupna vrednost kar največja.

Problem, ki ga obravnava diplomsko delo, ima prav tako omejitve, ki jih moramo upoštevati (finance, združevanje variant...). V računski model vključimo vse omejitve in kombinacije združevanja dejavnosti. Iteracijski postopek ponavljamo, dokler ne najdemo ustrezne rešitve oziroma kombinacije variant, pri čemer si pomagamo z računalniškim algoritmom »Solver« (dodatek k programu MS Excel). Optimalna rešitev ustreza načelu Paretovega optimuma («Pareto optimality»). Določena rešitev je Pareto optimum, če v prostoru vseh možnih rešitev ne obstaja nobena rešitev, ki bi izboljšala oceno glede na določen kriterij, ne da bi tem pokvarila oceno glede vsaj enega od ostalih kriterijev. Z modelom nahrbtnika dobimo rešitev, ki temelji na konceptu Paretovega optimuma. Optimalni varianti lahko vedno poiščemo neko dodatno rešitev, ob kateri bo sicer boljše zadoščeno kriteriju, vendar bo slabše zadoščeno vsaj enemu od ostalih kriterijev.



Slika 10: Ciklogram iterativnega postopka določanja z metodo nahrbtnika (Povzeto po Kne, 2007)

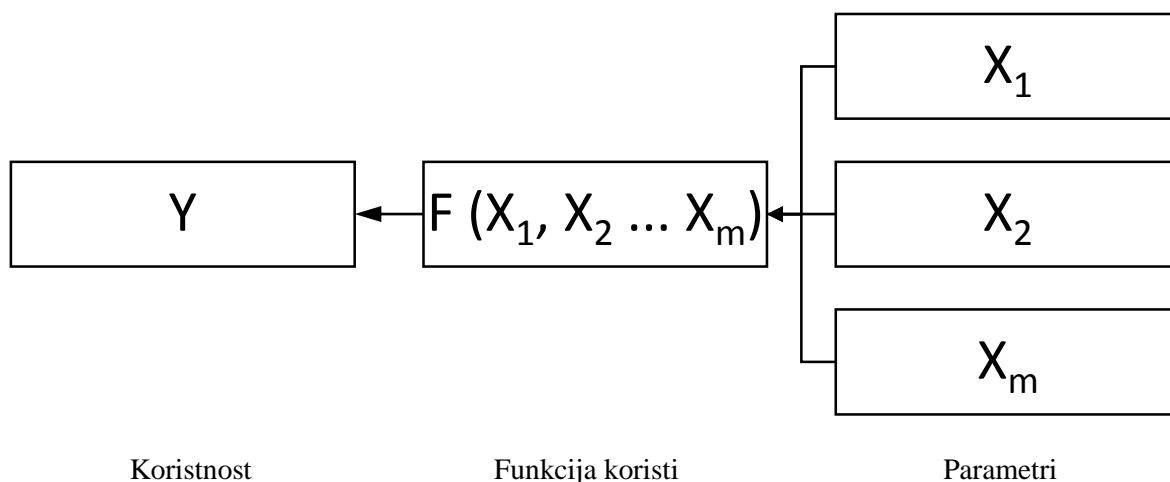
Omejitve (»constraints«) so dodatni pogoj, ki pogosto nastopajo v povezavi z modelom odločanja, ki temelji na modelu nahrbtnika. Opredeljuje zahteve, ki nastopajo v procesu določanja (finančne omejitve, združljivost variant...).

Več parametrski odločitveni model sestavlja več nivojev. Na dnu modela se nahajajo parametri, nivo višje je funkcija koristi, najvišje pa koristi. Kazalniki q_{ij} , ki pripadajo varianti i in kriteriju j , predstavljajo vhod v model odločanja. Vse vrednosti so že normirane in tako primerljive med seboj. Na nivoju parametrov je za i -to varianto odločanja definirana naslednja funkcija koristi:

$$X_j = X_j(i_{i,j})$$
$$i = 1 \dots n, \text{ kjer je } n \text{ število parametrov} \quad (9)$$
$$j = 1 \dots m, \text{ kjer je } m \text{ število parametrov (kriterijev)}$$

Delna funkcija koristi posameznemu parametru (kriteriju) z utežnim množenjem priredi vrednost – delno korist. Seštevek vseh posameznih delnih koristi, nam da korist i -te variante:

$$Y_i = F_i(X_1 \dots X_m)$$
$$i = 1 \dots n, n \text{ število parametrov} \quad (10)$$
$$j = 1 \dots m, m \text{ število parametrov (kriterijev)}$$



Slika 11: Več parametrski odločitveni model

Funkcija koristi nam daje končno oceno posameznih variant. Običajno gre za sestavljeno funkcijo ($F(f(x))$), ki koristi 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.

7.6 Analitično hierarhični proces (AHP)

Več parametrsko odločanje po navadi vsebuje zahteve oziroma kriterije, ki si med seboj niso enakovredni. AHP (analytical hierarchy process) je metoda, s katero določamo medsebojne pomembnosti posameznih kriterijev ter iz teh relacij določimo uteži posameznim kriterijem (Saaty, 1990). Metodo, kjer so posamezni kriteriji razvrščeni v hierarhično lestvico, povzemamo v nadaljevanju.

Glavni problem razdelimo na kriterije, pod kriterije in kazalnike, kakor prikazuje slika 12. Kriteriji in podkriteriji natančneje opredelijo glavni problem, medtem ko predstavljajo kazalniki kvantitativno vrednost parametrov. Prispevke kazalnikov k glavnemu cilju določimo glede na podlagi uteži vseh parametrov, ki jih pridobimo z uporabo AHP. Postopek AHP sestavlja (Mrvar, 2007):

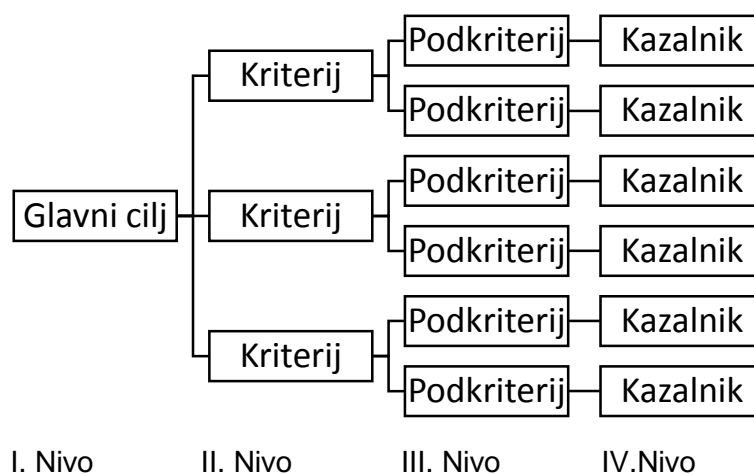
1. Opredelitev glavnega cilja (naprimer razvrščanje avtocestnih nadvozov na podlagi potrebnih intervencijskih posegov, optimalna izbira pogodbenikov...)
2. Določitev vseh parametrov (kriteriji, pod kriteriji), za katere želimo določiti uteži. Sestavimo hierarhično strukturo (12)

3. Definiramo preferenčno relacijo (11), 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.

$$x P y \quad (11)$$

Primerjalna matrika:

$$A = a_{i,j} (i = 1 \dots n, j = 1 \dots n) \quad (12)$$



Slika 12: Drevesna struktura niza kriterijev

Primerjalna matrika predstavlja vse parne primerjave n parametrov. Število primerjalnih matrik je enako številu razvejišč drevesne strukture. V našem primeru (slika 12) vidimo štiri razvejišča (eno na drugem nivoju in tri na tretjem). Dimenzija matrike na drugem nivoju je enaka številu kriterijev, dimenzija primerjalne matrike na tretjem nivoju pa je enaka številu vseh pod kriterijev. Členi matrike izražajo preferenčno relacijo za vse nastopajoče parametre. Običajno se uporablja devet stopenjska lestvica:

- $a_{ij} = 1$ – 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. Problem usklajenosti se pojavi pri določanju parnih primerjav:

$$a_{ik} * a_{kj} = a_{ij} ??? \quad (13)$$

V primeru, če je parameter i pomembnejši od k in k pomembnejši od j , je tudi i pomembnejši od j . Člene primerjalne matrike popravljamo toliko časa, da dosežemo željeno natančnost. Prioritetni vektor («priority vector») določimo tako, da poiščemo lastne vrednosti in lastne vektorje primerjalne matrike:

$$\lambda * v = A * v \quad (14)$$

Prioritetni vektor je lastni vektor matrike A , ki pripada največji lastni vrednosti λ_{max} . Za matriko A je značilno, da je (Saaty, 1990):

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

4. Za primerjalno matriko A izračunamo njeno usklajenost. Popolnoma usklajena matrika ima dimenzijo enako največji lastni vrednosti. V primeru neusklajene matrike je njena lastna vrednost večja od njene dimenzije. Lastno vrednost lahko izračunamo s programom (Mathematica) ali s približno metodo (15).

$$\lambda_{max} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{(A \times v)_i}{v_i} \quad (15)$$

Indeks usklajenosti izračunamo glede na razliko lastne vrednosti in dimenzije:

$$I = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} \quad (16)$$

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

Količnik usklajenosti nam pove, če je matrika ustrezno usklajena. Izračunamo ga tako, da indeks usklajenosti faktoriramo z indeksom usklajenosti slučajno generiranih pozitivnih recipročnih vrednosti matrik, ki je prikazan v preglednici 9.

Preglednica 9: Slučajni indeks I_R v odvisnosti od dimenzije matrike (Saaty, 1990)

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

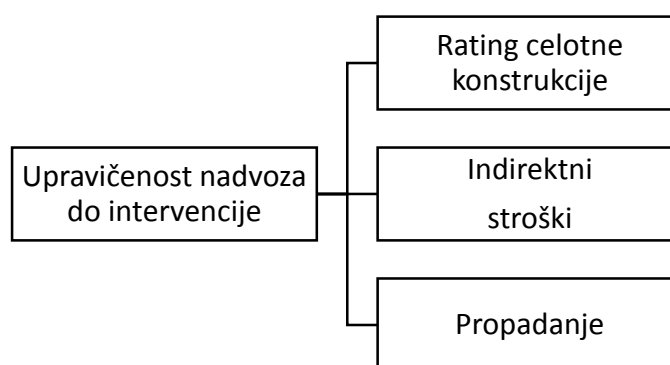
5. Korake 3, 4 in 5 ponavljamo za vse primerjalne matrike prvega in drugega nivoja hierarhične strukture.
6. Izračunamo prioritete vektorje in jih normaliziramo. Posamezne prioritete parametrov hierarhične strukture množimo z nadrejenimi prioritetai.
7. V tretjem nivoju hierarhične strukture seštejemo usklajenosti posameznih matrik, rezultat pomnožimo z ustrežno nadrejeno prioriteto in dobimo usklajenost tretjega nivoja, ki mora ustrezati pogoju ($I / I_R < 10\%$).

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

V primeru določanja po metodi AHP imamo na voljo tri kriterije:

- rating celotnega objekta (RCO),
- višino indirektnih stroškov (IS) in
- propadanje objektov (PRO).

Kriterije, po katerih presojava upravičenost avtocestnih nadvozov do intervencije, razvrstimo v hierarhično strukturo in tvorimo primerjalno matriko.



Slika 13: Struktura uporabljenih kriterijev

Preglednica 10: Primerjalna matrika A

	Rating nadvozov	Indirektni stroški	Propadanje
Rating nadvozov	1	9	5
Indirektni stroški	0.11	1	0.2
Propadanje	0.2	5	1
<i>Vsota po stolpcih</i>	<i>1.31</i>	<i>15</i>	<i>6.2</i>

Primerjalno matriko A normaliziramo tako, da je vsota po stolpcih enaka 1 (preglednica 11). Izračunamo prioritetni vektor, ki je enak aritmetični sredini posameznih vrstic. Prioritetni vektor predstavlja uteži posameznih kriterijev.

Preglednica 11: Prioritetni vektor normalizirane primerjalne matrike A

	Rating nadvozov	Indirektni stroški	Propadanje	Prioritetni vektor – v
Rating nadvozov	1 / 1.31	9 / 15	5 / 6.2	0.72
Indirektni stroški	0.11 / 1.31	1 / 15	0.2 / 6.2	0.06
Propadanje	0.2 / 1.31	5 / 15	1 / 6.2	0.22

Rezultati kažejo, da je glavni kriterij rating nadvoza, sledijo mu propadanje nadvoza in indirektni stroški. V nadaljevanju izračunamo prioritetni vektor s pomočjo pomožnega produkta.

Preglednica 12: Pomožni produkt za izračun λ_{\max}

	0.72	0.06	0.22	
	Rating nadvoza	Indirektni stroški	Propadanje	Produkt
Rating nadvoza	1	7	5	2.36
Indirektni stroški	0.14	1	0.2	0.18
Propadanje	0.2	5	1	0.66

Istoležne komponente vektorja (preglednica 12) delimo s komponentami prioritetnega vektorja (preglednica 11), dobimo vektor:

$$\frac{\{2,36; 0,18; 0,66\}}{\{0,72; 0,06; 0,22\}} = \{3,27; 3; 3\} \quad (17)$$

Največjo lastno vrednost λ_{max} (18) dobimo tako, da izračunamo aritmetično sredino komponent prioritetnega vektorja (17):

$$\lambda_{max} = \frac{3,27 + 3 + 3}{3} = 3,09 \quad (18)$$

Izračun usklajenosti (19), (20):

$$I = \frac{\lambda_{max} - n}{n - 1} = \frac{3,09 - 3}{2} = 0,05 \quad (19)$$

$$\frac{I}{I_R} = \frac{0,05}{0,58} = 0,086 \leq 0,10 \quad (20)$$

Ker je kvocient I/I_R (21) manjši od 10%, je dobljena primerjalna matrika dovolj usklajena.

7.8 Določanje vrstnega reda nadvozov

Oznake in vrednosti, ki smo jih upoštevali v izračunu in nadaljevanju naloge, so prikazane v preglednici 13. Vrednosti trajanja obnove/zamenjave in stroškov so okvirne in smo jih povzeli po (Kne, 2007).

Preglednica 13: Oznake in vrednosti upoštevane v izračunu

Oznaka	Ime	Vrednost
TPN	Tlorisna površina nadvoza	(preglednica 5)
PLDP	Povprečni letni dnevni promet	(preglednica 5)
DZ	Dolžina zapore	(preglednica 5)
CN	Cena nadvoza	$\approx \text{TPN} \times 1120.8 \text{ €/m}^2$
SZN	Stroški zamenjave nadvoza	$\approx \text{SRN} + \text{CN} + \text{SZZ} = \text{TPN} * 1620.4 \text{ €/m}^2$
ČON	Čas obnove nadvoza	≈ 4 mesece (120 dni)
COD	Cena obnovitvenih del	$\approx \text{TPN} * 677.4 \text{ €/m}^2$
SON	Stroški obnove nadvoza	$\approx \text{COD} + \text{SZO} = \text{TPN} * 871.6 \text{ €/m}^2$
AD	Amortizacijska doba	≈ 50 let
SV	Stroški vzdrževanja	$\approx \text{CN} / \text{AD} = \text{TPN} * 22.4 \text{ €/m}^2 * \text{leto}$
SZO	Stroški zapore pri obnovi	$\approx \text{TPN} * \text{ČON} * 1.618 \text{ €/m}^2/\text{dan}$
is	Indirektni stroški	$\approx 5.29\text{E-}02 \text{ €/km/vozilo}$
ISO	Indirektni stroški obnove	$\approx \text{is} * \text{DZ} * \text{PLDP} * \text{ČON} \approx 5.29\text{E-}02 \text{ €/km/vozilo} * \text{DZ} * \text{PLDP} * \text{ČON}$

Indirektni stroški so stroški zaradi izgubljenega časa na avtocesti v času sanacije nadvozov. Izračunamo jih na podlagi zmanjšane hitrosti pri vožnji preko odsekov, kjer je en pas zaprt, kjer je omejitev 60 km/h, in iz tega razloga podaljšanega potovalnega časa. V računu upoštevamo, da je običajna povprečna hitrost

osebnih vozil na avtocesti 130 km/h. Izguba časa tovornih vozil je nekoliko manjša (zanje v računu upoštevamo povprečno hitrost 90 km/h), vendar obenem upoštevamo, da je pomembnost in količino tovora, ki ga prevažajo pomembnejša. Na tej predpostavki izračunamo indirektne stroške za vsa vozila enako. Pri izračunu indirektnih stroškov poleg zmanjšane hitrosti upoštevamo še povprečno neto slovensko plačo (1038 €) ter mesečno število delovnih ur (176 h) (Statistični urad Republike Slovenije, 2013).

$$is = \left(\frac{1}{60 \text{ km/h}} - \frac{1}{130 \text{ km/h}} \right) * \frac{1038 \text{ €}}{176 \text{ h}} = 0,0529 \frac{\text{€}}{\text{km} * 1 \text{ vozilo}} \quad (22)$$

Z uporabo metode večparameterskega odločanja želimo določiti, izmed celotne množice nadvozov nad obravnavanim odsekom, skupino nadvozov, katerih vzdrževanje in obnova rezultirata v največji skupni koristi pri vnaprej omejeni skupni finančni vrednosti. Zato naj ima izbrana skupina objektov pri vzdrževanju in obnovi prednost. Pri tem določimo skupno korist kot vsoto posameznih koristi, ki jih pridobimo z obnovo izbranih objektov. Glavni elementi večparameterskega določanja so:

Korist ali končna ocena odločanja.

Na podlagi končne ocene določanja ali koristi (Y) v večparameterskem odločanju dobimo skupino nadvozov, ki jih je določil izdelani odločitveni model. Koristi, ki jih pridobimo z obnovo posameznega nadvoza, dobimo z uporabo funkcije koristi na podlagi predhodno identificiranih kriterijev:

$$Y_i = F_i[X_j(i_{i,j})] \quad (23)$$

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

$j = 1 \dots 6$ (uporabimo 6 kriterijev)

Kot ključne smo identificirali naslednje kriterije odločanja:

- Rating celotnega objekta – RCO. Opis ratinga celotnega objekta je opisan v razdelku 4.2.
- Starost nadvoza – SN. Kriterij lahko opisuje tudi vpliv funkcionalnosti, saj s starostjo objekt svojo funkcionalnost izgublja.
- Združevanje – Z. Kriterij združuje sanacije nadvozov zaradi skupne zapore. Največ lahko združimo po 3 nadvoze hkrati (nadvozi ležijo med dvema zaporednima prehodoma čez sredino).
- Indirektni stroški – IS. Kriterij indirektnih stroškov je opisan na začetku tega razdelka.
- Stroški obnove nadvoza – SON. Kriterij stroškov obnove nadvoza (SON) je vsota obnovitvenih del (COD) in stroškov zapore (SZ)
- Propadanje – PRO. Kriterij propadanja je opisan v razdelku 6. Hitrosti propadanja smo izračunali na podlagi ocen RCO iz predhodnih let (PRILOGA A).

Kazalnike kriterijev določimo na podlagi vrednosti (preglednica 14), ki predstavljajo posamezne parametre izbranega nadvoza. Pri kriteriju PRO predstavljajo vrednosti hitrosti propadanja objektov, ki jih nato normaliziramo s formulama (24) in (25). Kazalniki so normalizirane vrednosti med 1 in 10, kjer je 10 maksimalna vrednost.

Razlikujemo dve vrsti kriterijev s pripadajočimi vrednostmi glede na to, ali je ocena (oziroma korist) premo sorazmerna ali obratno sorazmerna s pripadajočim parametrom. Z izrazom (24) izračunamo ocene oziroma koristi kriterijev, ki so sorazmerne s parametri, če se vrednost parametra viša, se posledično tudi parcialna korist kriterija viša. Tako smo določili ocene kriterijev za rating celotnega objekta (RCO), starost nadvoza (SN) in združevanje (Z).

Z izrazom (25) pa določimo ocene kriterijev, ki so obratno sorazmerne z vrednostjo kriterija. Na ta način smo izračunali koristi stroškov obnove nadvoza (SON), indirektno stroške (IS) in hitrost propadanja objektov (PRO), kjer je ocena kriterija višja pri nižji vrednosti kriterija:

$$i_{i,j} = (f_{i,j} - f_{j,min}) * \frac{9}{f_{j,max} - f_{j,min}} + 1 \quad (24)$$

$$i_{i,j} = - (f_{i,j} - f_{j,min}) * \frac{9}{f_{j,max} - f_{j,min}} + 10 \quad (25)$$

$$i = 1 \dots 27$$

$$j = 1 \dots 6$$

Preglednica 14: Vrednosti parametrov odločanja za posamezne nadvoze

		RCO	SN	Z	IS	SON	PRO
	Šifra objekta	/	Leto	/	€	€	/
1	VA0055	4.29	33	1	250006	401370	0.18
2	VA0056	9.02	33	3	492423	411916	0.30
3	VA0057	6.61	31	3	492423	454886	0.08
4	VA0058	9.03	32	3	471226	481644	0.10
5	VA0061	9.92	32	1	323207	387686	0.27
6	VA0062	6.78	31	1	478721	401370	0.12
7	VA0066	5.45	31	1	492961	339922	0.09
8	VA0069	12.57	31	1	492961	385245	0.19
9	VA0071	11.61	31	1	254408	385245	0.02
10	VA0074	12.57	31	1	268744	339922	0.37
11	VA0075	9.51	31	1	267864	560218	0.05
12	VA0077	13.74	31	2	269750	325541	0.28
13	VA0079	4.77	31	2	269750	401370	0.07
14	VA0082	11.89	31	2	40014	481644	0.18

se nadaljuje...

...nadaljevanje preglednice 14

15	VA0083	15.01	31	2	98301	401370	0.35
16	VA0092	6.29	31	1	352788	339922	0.27
17	VA0098	10.17	31	3	315576	454886	0.18
18	VA0099	9.87	31	3	390713	476292	0.15
19	VA0101	5.27	31	3	390713	375222	0.27
20	VA0102	6.96	31	1	337043	375222	0.24
21	VA0106	7.37	31	1	343979	411916	0.11
22	VA0109	9.11	31	2	369575	428128	0.08
23	VA0110	9.83	31	2	369575	470069	0.02
24	VA0112	11.84	31	2	438290	806091	0.06
25	VA0113	14.89	31	2	438290	1434266	0.16
26	VA0116	18.05	31	1	422108	473799	0.20
27	VA0119	10.07	31	1	524271	473799	0.08
	MAKS	18.05	33	3	524271	1434266	0.37
	MIN	4.29	31	1	40014	325541	0.02
	Σ				9655680	12678961	

Preglednica 15: Kazalniki ocen posameznih kriterijev za posamezne nadvoze

	Šifra objekta	RCO	SN	Z	IS	SON	PRO
1	VA0055	1	10.00	1.00	6.10	9.38	5.93
2	VA0056	4.09	10.00	10.00	1.59	9.30	2.70
3	VA0057	2.52	1.00	10.00	1.59	8.95	8.41
4	VA0058	4.10	5.50	10.00	1.99	8.73	7.93
5	VA0061	4.68	5.50	1.00	4.74	9.50	3.61
6	VA0062	2.63	1.00	1.00	1.85	9.38	7.47
7	VA0066	1.76	1.00	1.00	1.58	9.88	8.16
8	VA0069	6.42	1.00	1.00	1.58	9.52	5.60
9	VA0071	5.79	1.00	1.00	6.02	9.52	9.92
10	VA0074	6.42	1.00	1.00	5.75	9.88	1.00
11	VA0075	4.41	1.00	1.00	5.77	8.10	9.19
12	VA0077	7.18	1.00	5.50	5.73	10.00	3.37
13	VA0079	1.31	1.00	5.50	5.73	9.38	8.73
14	VA0082	5.97	1.00	5.50	10.00	8.73	5.94
15	VA0083	8.01	1.00	5.50	8.92	9.38	1.65
16	VA0092	2.31	1.00	1.00	4.19	9.88	3.64
17	VA0098	4.85	1.00	10.00	4.88	8.95	5.82
18	VA0099	4.65	1.00	10.00	3.48	8.78	6.62
19	VA0101	1.64	1.00	10.00	3.48	9.60	3.53
20	VA0102	2.75	1.00	1.00	4.48	9.60	4.26
21	VA0106	3.01	1.00	1.00	4.35	9.30	7.70
22	VA0109	4.15	1.00	5.50	3.88	9.17	8.31

se nadaljuje...

...nadaljevanje preglednice 15

23	VA0110	4.62	1.00	5.50	3.88	8.83	10.00
24	VA0112	5.94	1.00	5.50	2.60	6.10	8.92
25	VA0113	7.93	1.00	5.50	2.60	1.00	6.26
26	VA0116	10.00	1.00	1.00	2.90	8.80	5.30
27	VA0119	4.78	1.00	1.00	1.00	8.80	8.37

Matriko kazalnikov (preglednica 15) izračunamo na podlagi izrazov (24) in (25). Vsak kriterij ima svojo relativno pomembnost (utež), ki je določena po postopku, ki je opisan v razdelku 6.5.

Skupna korist, Y , je produkt vektorja uteži in matrike kazalnikov (28).

$$I = i_{i,j}$$
$$i = 1 \dots 27 \quad (26)$$

$$j = 1 \dots 6$$

$$Y = Y_i$$
$$i = 1 \dots 27 \quad (27)$$

$$Y = I * w \quad (28)$$

Z modelom večkriterijskega odločanja določimo varianto z največjo skupno koristjo, ki hkrati ustreza vsem omejitvam.

7.9 Odločanje z metodo nahrbtnika

Vrstni red za izbrano skupino določimo s pomočjo metode nahrbtnika, ki je opisana v razdelku 6.4. V našem primeru bi radi obnovili skupino nadvoзов, katerih obnova daje upravljavcu in uporabnikom največjo skupno korist, hkrati pa strošek obnove ne sme prekoračiti razpoložljivih finančnih sredstev. Če obstaja možnost, da lahko združimo več sanacij nadvoзов v isto zaporo avtoceste, lahko s tem prihranimo velik del stroškov zapore in indirektnih stroškov. V času poteka del avtocesto zapremo od prvega najbližjega prehoda preko sredine pred nadvozom do naslednjega najbližjega prehoda preko sredine za nadvozom. V primeru, da je znotraj zapore več nadvoзов, potrebnih sanacije, poteka obnova objektov hkrati, postopek pa imenujemo združevanje objektov. Z eno zaporo lahko združimo največ tri nadvoze hkrati, v tem primeru prihranimo 2/3 stroškov zapore in 2/3 indirektnih stroškov v primerjavi s primerom, če bi izvajali zaporo za vsak nadvoz posebej. Na mestih, kjer lahko združimo dva nadvoza, znaša prihranek polovico stroškov zapore ter polovico indirektnih stroškov. Na obravnavanem odseku so prehodi preko sredine locirani tako, da lahko združimo objekte 2, 3, 4 in 17, 18, 19 oziroma 7,8 ; 12, 13; 22, 23 in 24, 25.

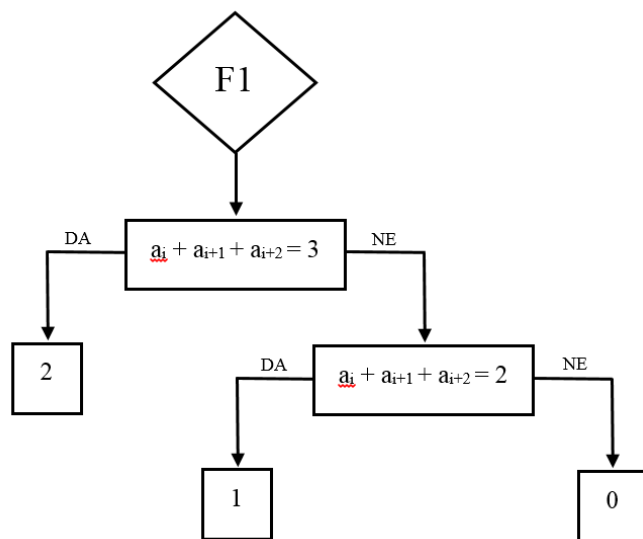
Algoritem združevanja treh nadvozov je prikazan na sliki 14, slika 15 pa prikazuje algoritem združitve dveh sanacij. Funkciji F1 in F2 (slika 14 in 15) lahko uporabimo šele takrat, ko imamo izbran odločitveni vektor \mathbf{a} .

$$\mathbf{a} = a_i \quad (i = 1 \dots 27) \quad (29)$$

Odločitveni vektor vsebuje 27 spremenljivk, ki lahko zavzamejo vrednost

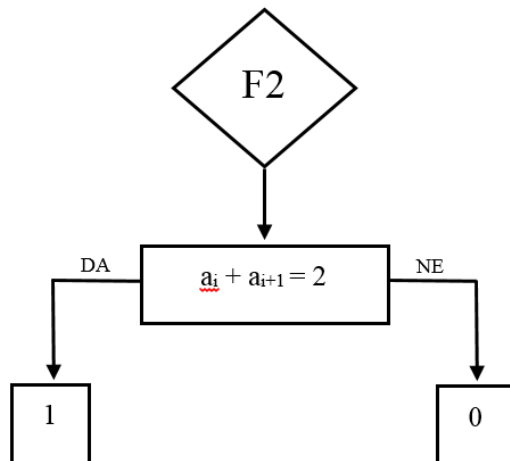
$a_i = 1$ v primeru, da je sanacija izbrana ali

$a_i = 0$ v primeru, da sanacija nadvoza ni izbrana.



Slika 14: Algoritem funkcije F1

Popravilo treh nadvozov hkrati opisuje funkcija F1, ki v primeru združitve vseh treh nadvozov izbere vrednost 2, če sta izbrana samo dva nadvoz je vrednost funkcije 1, sicer pa 0.



Slika 15: Algoritem funkcije F2

Funkcija F2 opisuje saniranje dveh nadvozov hkrati, torej v primeru, da sta izbrana oba, je vrednost funkcije enaka 1, sicer pa 0.

Stroški sanacije treh nadvozov brez upoštevanja indirektnih stroškov so določeni z izrazom:

$$SON_{SK,i} = SON_i - \frac{LSA}{3} * SZ_i \quad (30)$$
$$i = 2, 3, 4 \text{ ter } 17, 18, 19$$

Stroški sanacije treh nadvozov z upoštevanjem indirektnih stroškov so določeni z izrazom:

$$SON_{SK,i} = SON_i - \frac{LSA}{3} * SZ_i - \frac{LSA}{3} * IS_i \quad (31)$$
$$i = 2, 3, 4 \text{ ter } 17, 18, 19$$

Stroški sanacije dveh nadvozov brez upoštevanja indirektnih stroškov so določeni z izrazom:

$$SON_{SK,i} = SON_i - \frac{LSB}{2} * SZ_i \quad (32)$$
$$i = 7, 8; 12, 13; 14, 15; 22, 23 \text{ in } 24, 25$$

Stroški sanacije dveh nadvozov z upoštevanjem indirektnih stroškov so določeni z izrazom:

$$SON_{SK,i} = SON_i - \frac{LSB}{2} * SZ_i - \frac{LSB}{2} * IS_i \quad (33)$$
$$i = 7, 8; 12, 13; 14, 15; 22, 23 \text{ in } 24, 25$$

Stroški v primeru, ko sanacij ne moremo združevati in ne upoštevamo indirektnih stroškov, so določeni z izrazom:

$$SON_{SK,i} = SON_i \quad (34)$$
$$i = 1, 5, 6, 9, 10, 11, 16, 20, 21, 26, 27$$

V primeru, ko sanacij ne moremo združevati, vendar upoštevamo indirektno stroške, pa so skupni stroški določeni z:

$$SON_{SK,i} = SON_i + IS_i \quad (35)$$

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

V modelu odločanja smo v variantah od A do D prikazali vpliv stroškov zapore in indirektnih stroškov ob možnih združitvah. Upoštevanje indirektnih stroškov in možnosti združevanja je v preglednicah 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 25 in 27 označeno z 1, sicer 0. Skupni stroški $SON_{SK,i}$ za posamezno alternativo so prikazani v preglednici 16, vrednosti pa so izračunane s pomočjo izrazov (30), (31), (32), (33), (34) in (35).

Preglednica 16: Določitev skupnih stroškov obnove nadvozov v primeru A) neupoštevanja indirektnih stroškov in stroškov združevanja; B) upoštevanja stroškov združevanja; C) upoštevanja indirektnih stroškov in D) upoštevanja stroškov združevanja in indirektnih stroškov.

	Varianta	A	B	C	D
	Indirektni stroški	0	0	1	1
	Združevanje	0	1	0	1
	Šifra objekta	SON_{SK} [€]	SON_{SK} [€]	SON_{SK} [€]	SON_{SK} [€]
1	VA0055	401370	401370	651376	651376
2	VA0056	411916	350744	904339	514885
3	VA0057	454886	387333	947309	551474
4	VA0058	481644	410117	952870	567192
5	VA0061	387686	387686	710893	710893
6	VA0062	401370	401370	880091	880091
7	VA0066	339922	339922	832883	832883
8	VA0069	385245	385245	878206	878206
9	VA0071	385245	385245	639653	639653
10	VA0074	339922	339922	608666	608666
11	VA0075	560218	560218	828082	828082
12	VA0077	325541	289282	595291	424158
13	VA0079	401370	356665	671120	491541
14	VA0082	481644	427999	521658	448005
15	VA0083	401370	356665	499670	405816
16	VA0092	339922	339922	692711	692711
17	VA0098	454886	387333	770461	492524
18	VA0099	476292	405560	867005	535798
19	VA0101	375222	319499	765935	449737
20	VA0102	375222	375222	712265	712265
21	VA0106	411916	411916	755895	755895
22	VA0109	428128	380443	797703	565231

se nadaljuje...

...nadaljevanje preglednice 16

23	VA0110	470069	417713	839644	602501
24	VA0112	806091	716309	1244381	935454
25	VA0113	1434266	1274519	1872556	1493664
26	VA0116	473799	473799	895907	895907
27	VA0119	473799	473799	998071	998071
	MAKS	1434266	1274519	1872556	1493664
	MIN	325541	289282	499670	405816
	Σ	12678961	11755818	22334640	18562676

7.10 Računski postopek

V prvem koraku pripravimo vse potrebne podatke v preglednici in zberemo koristi posameznih kriterijev s pripadajočimi utežmi. Določimo skupno korist posameznega nadvoza, ki je odvisna od izbranih kriterijev. Nato izračunamo stroške obnove nadvoza, ki so odvisni od vključitve zapor in indirektnih stroškov v izračun. Na koncu definiramo še odločitveni vektor, katerega členi lahko zavzamejo vrednost 1 v primeru izbranega nadvoza in vrednost 0, če nadvoz ni izbran.

Za izračun uporabimo funkcijo Solver, ki je dodatek programu MS Excel (slika 16). Cilj izračuna je dobiti seznam objektov, ki naj bodo deležni sanacije, pri vnaprej omejenem proračunu. Izhodiščna vrednost proračuna je 10 mio €.

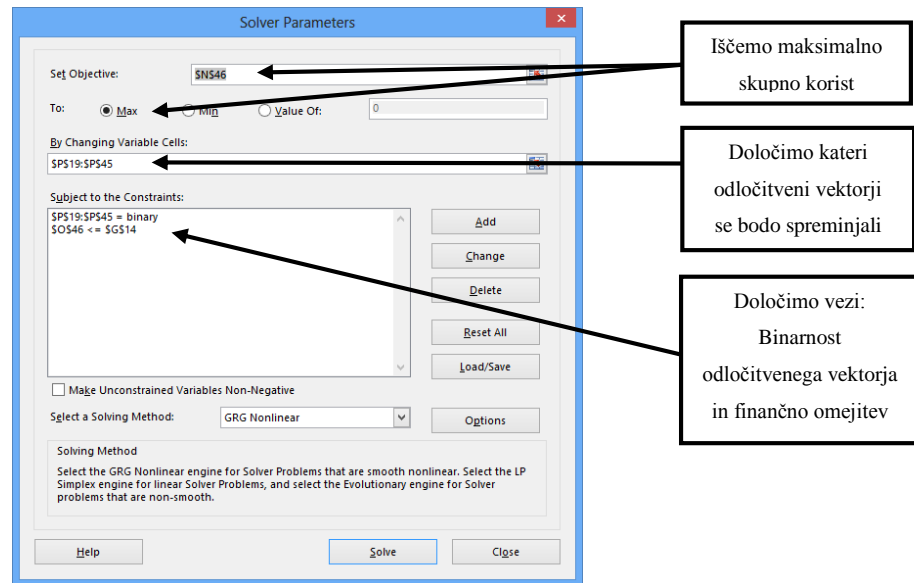
Da bi ugotovili, kako vpliva povečanje ali zmanjšanje proračuna na skupino izbranih objektov in pripadajočo korist, smo omejitev finančnih sredstev (»nahrbtnik«) povečali oziroma zmanjšali za 20%. Iščemo najvišjo možno skupno korist, ki ustreza navedenim kriterijem in omejitvam. Skupna korist (36) je produkt vektorja koristi (37) in odločitvenega vektorja (38):

$$Y_{SK} = [Y]^T * \mathbf{a} = [I * \mathbf{w}]^T * \mathbf{a} \quad (36)$$

$$\begin{aligned} Y &= Y_i \\ i &= 1 \dots 27 \end{aligned} \quad (37)$$

$$\begin{aligned} \mathbf{a} &= a_i \\ i &= 1 \dots 27 \end{aligned} \quad (38)$$

$$\begin{aligned} a_i &= 1, && \text{če sanacija nadvoza } i \text{ izbrana} \\ a_i &= 0, && \text{če sanacija nadvoza } i \text{ ni izbrana} \end{aligned}$$



Slika 16: Izračun modela večkriterijskega določanja z uporabo Solver-ja

8 REZULTATI

8.1 Rezultati parametrične analize

Vpliv posameznega kriterija v večkriterijski metodi določanja smo določili z utežmi. V diplomskem delu smo upoštevali 6 kriterijev (RCO, SN, Z, IS, SON, PRO). V nadaljevanju prikazujemo rezultate za primer, ko se odločamo za vrstni red sanacij na podlagi enega samega kriterija. Za vsak primer so prikazane štiri variante (A, B, C, D), glede na upoštevanje združevanja in indirektnih stroškov. Da bi ovrednotili vpliv povečanja / zmanjšanja dodeljenih finančnih sredstev na višino koristi, smo pri finančni omejitvi 10 mio € analizirali še primerja, ko je finančna omejitev večja oziroma manjša od izhodiščne vednosti za 20%. Potemnjena okenca v preglednicah 17, 18, 19, 20, 21, 22, 25 in 27 shematično prikazujejo združene nadvoze.

8.1.1 Izbira sanacijskega načrta glede na rating celotnega objekta (RCO)

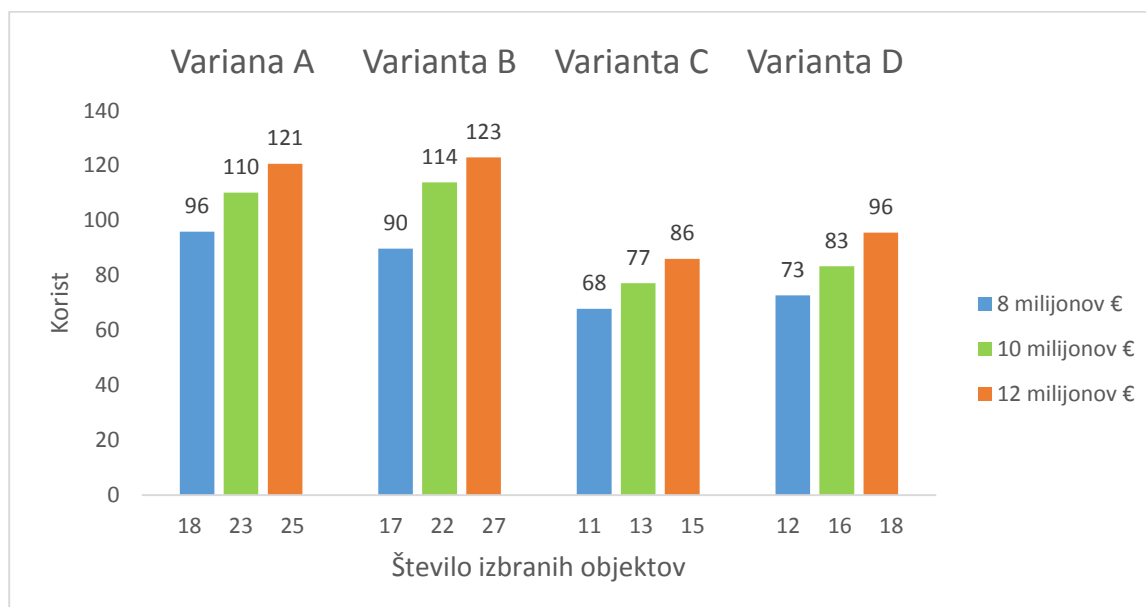
Preglednica 17: Izbira sanacijskih ukrepov pri upoštevanju kriterija RCO (stanje objekta) pri finančni omejitvi 10 mio € ± 20% (0=nadvoz ni izbran; 1=nadvoz je izbran)

	Varianta	A			B			C			D		
		-20%	A	+20%	-20%	B	+20%	-20%	C	+20%	-20%	D	+20%
	IS	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	Z	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1
	Šifra objekta	Odločitveni vektor a _i			Odločitveni vektor a _i			Odločitveni vektor a _i			Odločitveni vektor a _i		
1	VA0055	0	0	0	0	0	1	0	0	1	0	0	0
2	VA0056	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1
3	VA0057	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1
4	VA0058	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1
5	VA0061	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0
6	VA0062	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
7	VA0066	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
8	VA0069	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
9	VA0071	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1
10	VA0074	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	VA0075	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0
12	VA0077	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	VA0079	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1
14	VA0082	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	VA0083	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	VA0092	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
17	VA0098	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	VA0099	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
19	VA0101	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1

se nadaljuje...

...nadaljevanje preglednice 17

20	VA0102	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
21	VA0106	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
22	VA0109	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	VA0110	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
24	VA0112	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1
25	VA0113	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1
26	VA0116	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
27	VA0119	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
	Σ	18	23	25	17	22	27	11	13	15	12	16	18
	Y_{SK}	95.89	110.17	120.61	89.80	113.92	122.93	67.88	77.15	86.08	72.74	83.39	95.59
	$\Sigma SON [10^6\text{€}]$	7.73	9.99	11.88	7.68	9.95	11.76	7.78	9.45	11.76	7.68	9.98	11.50



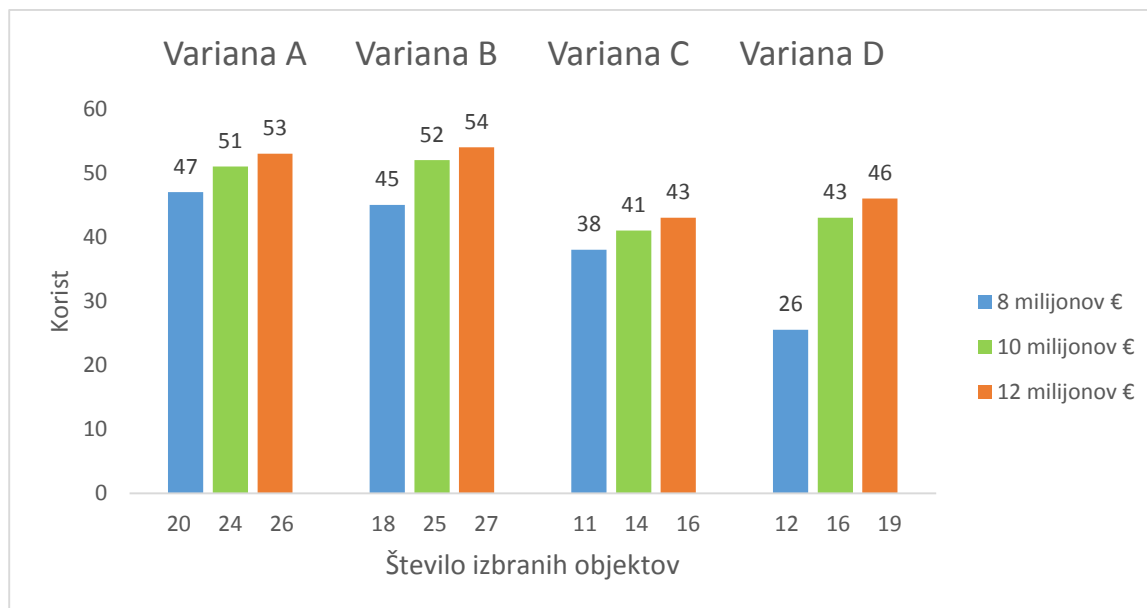
Slika 17: Primerjava koristi v primeru povečanja oziroma zmanjšanja finančnih sredstev za kriterij RCO pri finančni omejitvi 10 mio € ± 20%

V preglednici 17 so prikazani rezultati izbranih sanacij ob upoštevanju ratinga celotne konstrukcije. Na podlagi teh podatkov prikazuje slika 17 koristi glede na višino finančnega vložka v sanacije. Skladno s pričakovanji se skupna korist povečuje z večanjem razpoložljivega zneska. Nadalje lahko vidimo, da je izbira objektov ter pripadajoča korist bistveno drugačna, če v določanju skupine objektov, ki naj bodo deležni obnove, upoštevamo kriterija indirektnih stroškov in združevanja objektov. Ker velja izbrana omejitev stroškov (»velikost nahrbtnika«) v primeru, da v procesu odločanja upoštevamo kot kriterij tudi indirektno stroške, za vsoto direktnih in indirektnih stroškov vseh objektov v skupini, je dosežena korist oziroma število izbranih objektov v tem primeru mnogo manjše.

8.1.2 Izbira sanacijskega načrta glede na starost nadvoza (SN)

Preglednica 18: Izbira sanacijskih ukrepov pri upoštevanju kriterija SN (starost nadvoza); (0=nadvoz ni izbran; 1=nadvoz je izbran pri finančni omejitvi 10 mio € ± 20%)

Varianta		A -20%	A	A +20%	B -20%	B	B +20%	C -20%	C	C +20%	D -20%	D	D +20%
IS		0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Z		0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1
Šifra objekta		Odločitveni vektor a _i			Odločitveni vektor a _i			Odločitveni vektor a _i			Odločitveni vektor a _i		
1	VA0055	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
2	VA0056	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	VA0057	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
4	VA0058	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	VA0061	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
6	VA0062	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
7	VA0066	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
8	VA0069	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
9	VA0071	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1
10	VA0074	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
11	VA0075	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
12	VA0077	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	VA0079	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
14	VA0082	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	VA0083	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	VA0092	1	1	1	0	1	1	1	0	1	0	0	1
17	VA0098	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1
18	VA0099	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
19	VA0101	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
20	VA0102	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0
21	VA0106	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0
22	VA0109	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
23	VA0110	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
24	VA0112	0	0	1	1	0	1	0	0	0	1	1	1
25	VA0113	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1
26	VA0116	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
27	VA0119	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
Σ		20	24	26	18	25	27	11	14	16	12	16	19
Y_{SK}		47.00	51.00	53.00	45.00	52.00	54.00	38.00	41.00	43.00	25.50	43.00	46.00
ΣSON [€]		7.97	9.88	11.24	7.95	9.76	11.76	7.45	9.76	11.25	7.99	9.84	11.78



Slika 18: Primerjava koristi v primeru povečanja oziroma zmanjšanja finančnih sredstev za kriterij SN pri finančni omejitvi 10 mio € ± 20%

Koristi v primerjavi RCO in SN so zelo različne, čeprav sta kriterija delno medsebojno odvisna. Res pa je, da je večina nadvozov stara 37 let, dva sta starejša za eno leto, dva pa imata 39 let. Najvišja korist tako pripada dvema najstarejšima nadvozoma, najmanjša posledično vsem najmlajšim. Kljub dodatnemu izbranemu objektu, ki je star 37 let, se korist minimalno poveča. Dobljeni rezultati kažejo, da je v vseh variantah je najboljša izbira finančnega vložka 10 mio €, saj je dobljena korist v tem primeru bistveno višja od vrednosti, ki nastopi pri zmanjšanju razpoložljivih finančnih sredstev za 20% in zelo počasi narašča, če se razpoložljivi znesek poveča na 12 mio €, saj ostanejo za sanacijo le najmlajši nadvozi, ki ob obnovi doprinesejo najnižjo korist.

8.1.3 Izbira sanacijskega načrta glede na združevanje (Z)

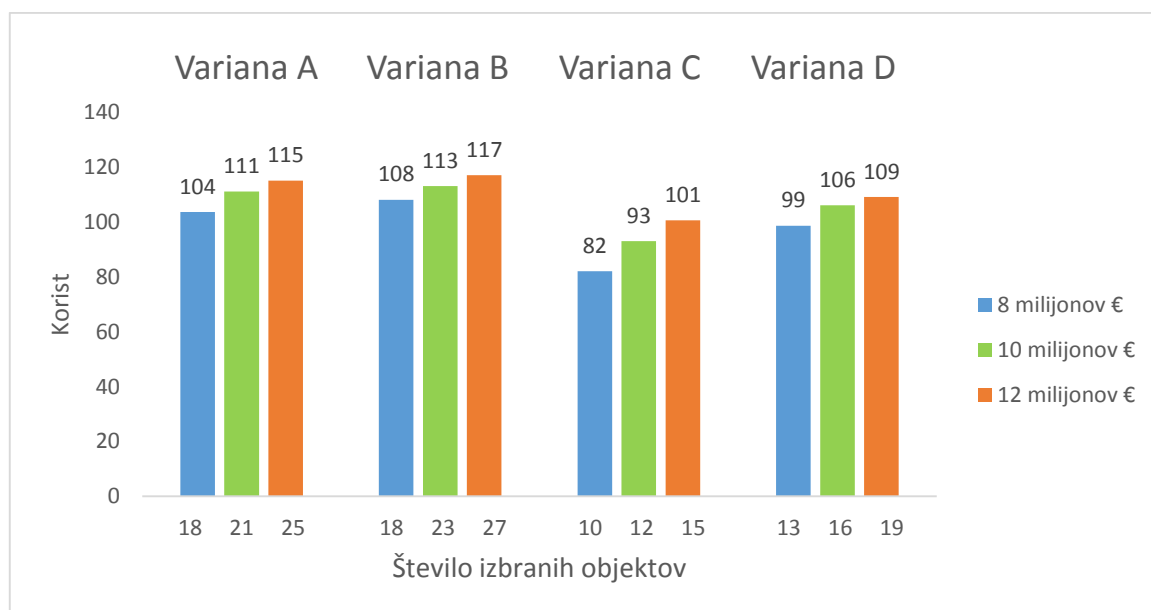
Preglednica 19: Izbira sanacijskih ukrepov pri upoštevanju kriterija Z (združevanje skupine nadvozov) (0=nadvoz ni izbran; 1=nadvoz je izbran pri finančni omejitvi 10 mio € ± 20%)

Varianta	A			B			C			D			
	-20%	A	+20%	-20%	B	+20%	-20%	C	+20%	-20%	D	+20%	
IS	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1	
Z	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1	
Šifra objekta	Odločitveni vektor a_i			Odločitveni vektor a_i			Odločitveni vektor a_i			Odločitveni vektor a_i			
1	VA0055	0	0	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1
2	VA0056	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	VA0057	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
4	VA0058	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	VA0061	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1

se nadaljuje...

...nadaljevanje preglednice 19

6	VA0062	0	0	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
7	VA0066	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0
8	VA0069	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
9	VA0071	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	1	1
10	VA0074	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1
11	VA0075	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
12	VA0077	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	VA0079	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	VA0082	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	VA0083	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	VA0092	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	1
17	VA0098	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	VA0099	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	VA0101	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	VA0102	0	1	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0
21	VA0106	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
22	VA0109	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
23	VA0110	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
24	VA0112	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1
25	VA0113	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
26	VA0116	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0
27	VA0119	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	Σ	18	21	25	18	23	27	10	12	15	13	16	19
	Y_{SK}	103.50	111.00	115.00	108.00	113.00	117.00	82.00	92.98	100.50	98.50	106.02	109.00
	ΣSON [€]	7.81	9.96	11.96	7.88	9.84	11.76	7.50	9.13	11.92	7.92	9.97	11.78



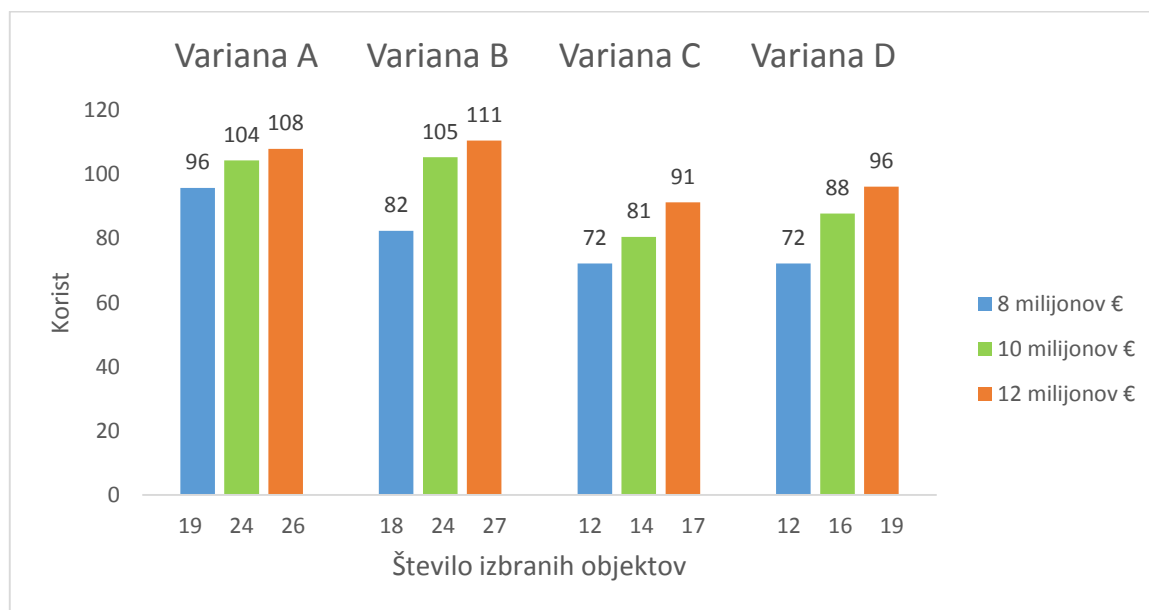
Slika 19: Primerjava koristi v primeru povečanja oziroma zmanjšanja finančnih sredstev za kriterij Z

Tudi v primeru združevanja je najboljša izbira začetnega finančnega stanja 10 mio €. Iz preglednice 19 je razvidno, da so večinoma izbrani nadvozi, kjer je možna izvedba skupne zapore in istočasne sanacije objektov znotraj zapore.

8.1.4 Izbira sanacijskega načrta glede na višino indirektnih stroškov (IS)

Preglednica 20: Izbira sanacijskih ukrepov pri upoštevanju kriterija IS (indirektni stroški) (0=nadvoz ni izbran; 1=nadvoz je izbran pri finančni omejitvi 10 mio € ± 20%)

	Varianta	A	A	A	B	B	B	C	C	C	D	D	D
		-20%		+20%		+20%	-20%		+20%	-20%		+20%	-20%
	IS	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
	Z	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1
	Šifra objekta	Odločitveni vektor a _i			Odločitveni vektor a _i			Odločitveni vektor a _i			Odločitveni vektor a _i		
1	VA0055	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
2	VA0056	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
3	VA0057	0	1	1	1	0	1	0	0	0	0	0	0
4	VA0058	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0	1
5	VA0061	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
6	VA0062	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
7	VA0066	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
8	VA0069	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
9	VA0071	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
10	VA0074	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	VA0075	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
12	VA0077	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	VA0079	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	VA0082	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	VA0083	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	VA0092	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
17	VA0098	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	VA0099	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1
19	VA0101	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1
20	VA0102	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
21	VA0106	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1
22	VA0109	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1
23	VA0110	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1
24	VA0112	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	0	0
25	VA0113	0	0	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0
26	VA0116	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1
27	VA0119	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	Σ	19	24	26	18	24	27	12	14	17	12	16	19
	Y_{SK}	95.83	104.43	108.03	82.38	105.44	110.63	72.29	80.51	91.35	72.29	87.87	96.24
	ΣSON [€]	7.83	9.96	11.24	7.95	9.78	11.76	7.90	9.46	11.93	7.38	9.78	11.86



Slika 20: Primerjava koristi v primeru povečanja oziroma zmanjšanja finančnih sredstev za kriterij IS
Preglednica 20 in slika 20 prikazujeta rešitev, ki jo dobimo, če upoštevamo v večkriterijskem modelu le indirektne stroške (IS). Če se odločamo samo na podlagi kriterija indirektnih stroškov je tudi tu najboljše razpolagati z 10 mio €. Indirektni stroški so premo sorazmerni povprečnemu letnemu dnevemu prometu (PLDP) ter dolžini zapore. Ker so si vrednosti PLDP pod posameznimi nadvozi zelo podobne, lahko zaključimo, da ima na celotne indirektne stroške največji vpliv dolžina zapore, vendar primerjava variant z vključitvijo IS oziroma Z temu ne kaže tako, kar pomeni, da je odvisnost med tema kriterijema slaba.

8.1.5 Izbira sanacijskega načrta v odvisnosti od stroškov obnove nadvoza (SON)

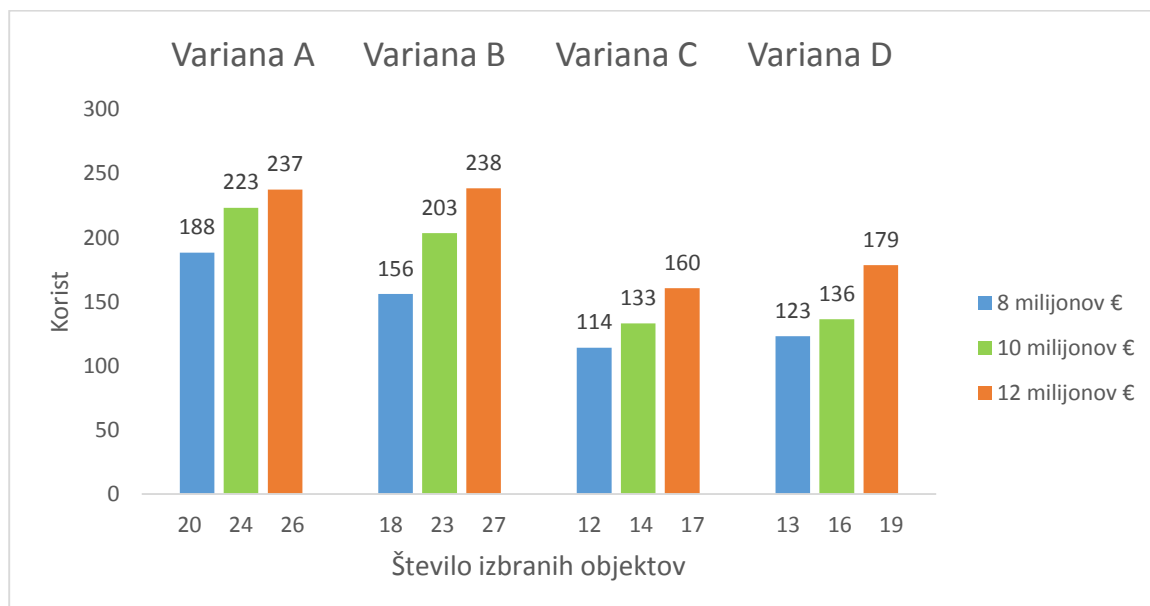
Preglednica 21: Izbira sanacijskih ukrepov pri upoštevanju kriterija SON (stroški obnove obvoza) (0=nadvoz ni izbran; 1=nadvoz je izbran pri finančni omejitvi 10 mio € ± 20%)

	Varianta	A-20%	A	A+20%	B-20%	B	B+20%	C-20%	C	C+20%	D-20%	D	D+20%
		IS	0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1
Z	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	1	1
	Šifra objekta	Odločitveni vektor a _i			Odločitveni vektor a _i			Odločitveni vektor a _i			Odločitveni vektor a _i		
1	VA0055	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1
2	VA0056	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0
3	VA0057	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0
4	VA0058	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0
5	VA0061	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
6	VA0062	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	1
7	VA0066	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	0	1
8	VA0069	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	1

se nadaljuje...

...nadaljevanje preglednice 21

9	VA0071	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1
10	VA0074	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
11	VA0075	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
12	VA0077	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	VA0079	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	VA0082	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	VA0083	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	VA0092	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1
17	VA0098	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
18	VA0099	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1
19	VA0101	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
20	VA0102	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1
21	VA0106	1	1	1	0	0	1	1	1	1	1	0	1
22	VA0109	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1
23	VA0110	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	1
24	VA0112	0	0	1	1	1	1	0	0	0	0	1	0
25	VA0113	0	0	0	1	1	1	0	0	0	0	1	0
26	VA0116	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
27	VA0119	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
	Σ	20	24	26	18	23	27	12	14	17	13	16	19
	Y_{SK}	188.20	223.23	237.43	156.05	203.44	238.43	114.16	133.06	160.50	123.11	136.30	178.66
	ΣSON [€]	7.97	9.88	11.24	7.89	9.84	11.76	7.83	9.44	11.94	7.78	9.73	11.78



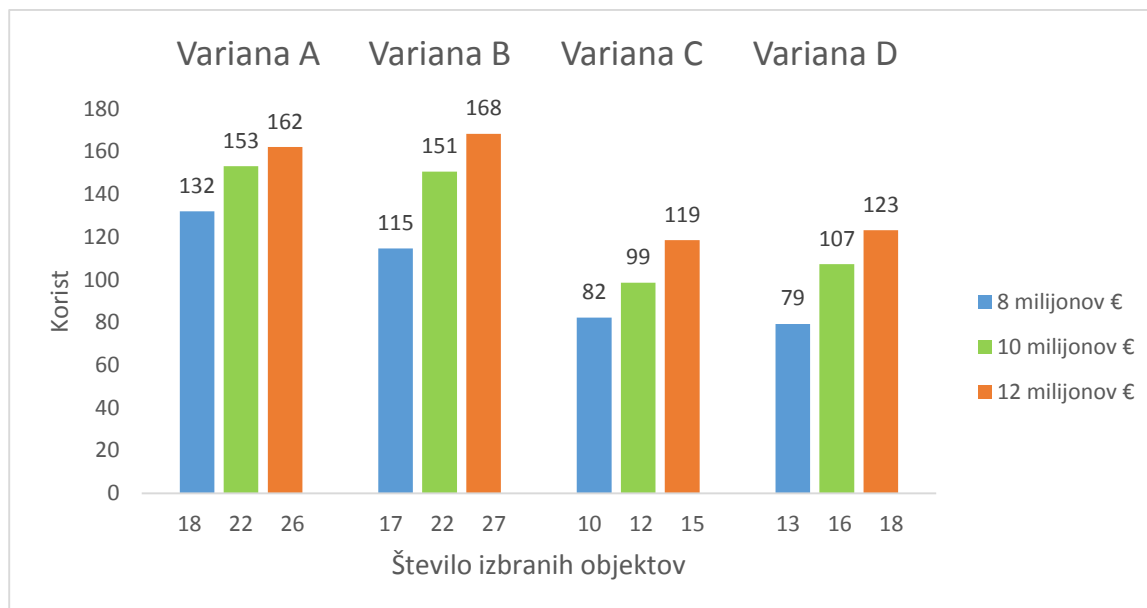
Slika 21: Primerjava koristi v primeru povečanja oziroma zmanjšanja finančnih sredstev za kriterij SON

Iz slike 21 je razvidno, da povečevanje razpoložljivih finančnih sredstev rezultira v povečanju skupne koristi. Nadalje je v tem primeru jasno razviden prispevek združevanja obnov nadvozov k povečanju skupne koristi.

8.1.6 Izbira sanacijskega načrta glede na kriterij propadanja (PRO)

Preglednica 22: Izbira sanacijskih ukrepov pri upoštevanju kriterija PRO (propadanje) (0=nadvoz ni izbran; 1=nadvoz je izbran pri finančni omejitvi 10 mio € ± 20%)

Varianta		A-20%	A	A+20%	B-20%	B	B+20%	C-20%	C	C+20%	D-20%	D	D+20%
IS		0	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	1
Z		0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1
Šifra objekta		Odločitveni vektor a _i			Odločitveni vektor a _i			Odločitveni vektor a _i			Odločitveni vektor a _i		
1	VA0055	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	0
2	VA0056	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
3	VA0057	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
4	VA0058	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
5	VA0061	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
6	VA0062	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0
7	VA0066	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
8	VA0069	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
9	VA0071	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
10	VA0074	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
11	VA0075	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	1	1
12	VA0077	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
13	VA0079	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
14	VA0082	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	VA0083	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
16	VA0092	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
17	VA0098	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
18	VA0099	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
19	VA0101	0	0	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
20	VA0102	1	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
21	VA0106	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1
22	VA0109	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	VA0110	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	VA0112	0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	1	1
25	VA0113	0	0	0	1	1	1	0	0	0	1	1	1
26	VA0116	0	1	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0
27	VA0119	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0
Σ		18	22	26	17	22	27	10	12	15	13	16	18
Y_{SK}		132.01	153.21	162.09	114.64	150.53	168.34	82.26	98.60	118.50	79.27	107.30	123.15
ΣSON [€]		7.72	9.72	11.24	7.68	9.84	11.76	7.54	9.44	11.95	7.92	9.95	11.53



Slika 22: Primerjava koristi v primeru povečanja oziroma zmanjšanja finančnih sredstev za kriterij PRO

Hitrost propadanja smo določili na podlagi ocen stanja (RCO) iz zadnjih pregledov, vendar se skupina objektov, ki ima prednost pri obnovi glede na kriterij propadanja (PRO) precej razlikuje od rešitve, ki jo model določi ob izključnem upoštevanju kriterija ocene stanja (RCO). Razlog se skriva verjetno v tem, da so bili nekateri objekti med posameznimi pregledi sanirani, kar pa se pri pregledu objekta ne zabeleži.

8.2 Izbira sanacijskega načrta glede na vse identificirane kriterije

Ko pristopa k vprašanju, katere objekte oziroma nadvoze naj izbere kot prednostne, lahko upravljavec oziroma odločevalec v praksi ugotovi, da pri odločanju ne more upoštevati le enega kriterija. Pri upoštevanju več kriterijev v procesu odločanja se mora nadalje odločiti, kakšna bo relativna pomembnost posameznih kriterijev. V ta namen lahko izbere metodo Analitičnega Hierarhičnega Procesu (AHP), ki je bila predstavljena v razdelku 6.5. Te metode se bomo poslužili tudi v tej raziskavi.

Najprej smo določili preferenčne relacije (preglednica 23), ki določajo, koliko je nek kriterij bolj pomemben od drugega. Informacije o preferenčnih relacijah smo pridobili na podlagi mnenj manjše skupine strokovnjakov s področja vzdrževanja. Podatke smo nato uporabili za izdelavo primerjalne matrike (preglednica 24).

Preglednica 23: Preferenčne relacije med kriteriji

	Preferenčna relacija	
RCO	7	SN
RCO	7	Z
RCO	9	IS
RCO	9	SON
RCO	5	PRO
SN	0.5	Z
SN	2	IS
SN	2	SON
SN	0.2	PRO
Z	2	IS
Z	2	SON
Z	0.2	PRO
IS	1	SON
IS	0.2	PRO
SON	0.2	PRO

Preglednica 24: Primerjalna matrika kriterijev

	A	B	C	D	E	F
A	1.00	7.00	7.00	9.00	9.00	5
B	0.14	1.00	0.50	2.00	2.00	0.2
C	0.14	2.00	1.00	2.00	2.00	0.2
D	0.11	0.50	0.50	1.00	1.00	0.2
E	0.11	0.50	0.50	1.00	1.00	0.2
F	0.2	5	5	5	5	1
Vsota	1.71	16.00	14.50	20.00	20.00	6.80

Na podlagi primerjalne matrike izračunamo prioritetni vektor (39). Komponente tega vektorja predstavljajo uteži posameznih kriterijev:

$$v = \{0,52; 0,07; 0,08; 0,04; 0,04; 0,24\} \quad (39)$$

S pomočjo vektorja (39) izračunamo največjo lastno vrednost z izrazom (15):

$$\lambda_{max} = 6,29 \quad (40)$$

Količnik indeksa usklajenosti (16) in slučajnega indeksa (preglednica 9) je manjši od 10%, iz česar sledi, da je primerjalna matrika dovolj usklajena.

$$\frac{I}{I_R} = 5,8\% < 10\% \quad (41)$$

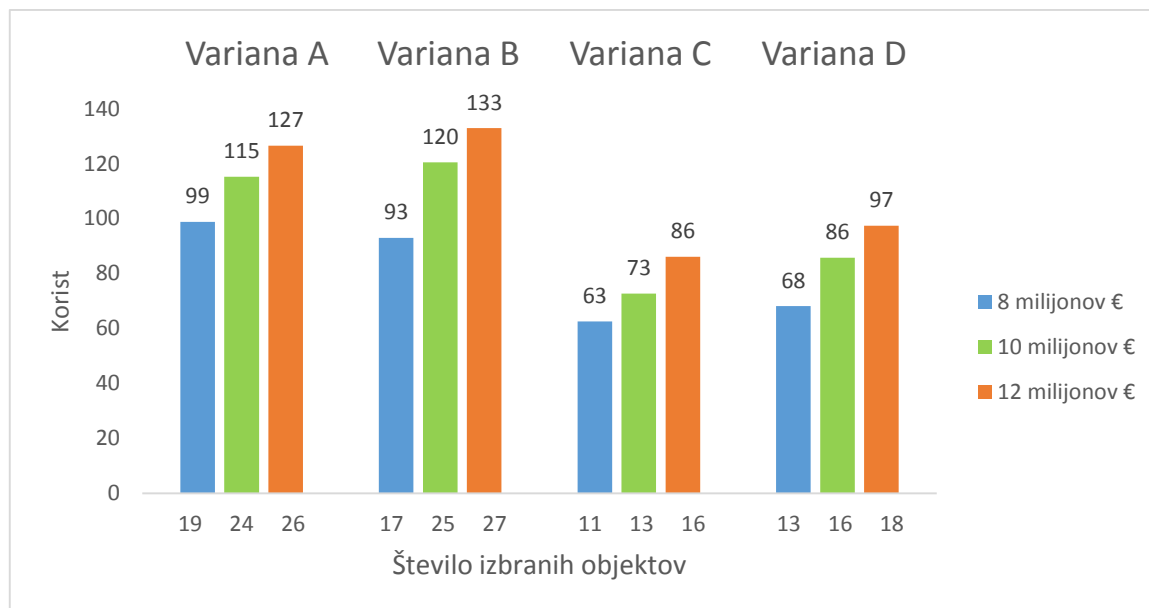
Dovolj dobro usklajena primerjalna matrika nam dovoljuje uporabo uteži (preglednica 25), ki so določene s komponentami prioritetnega vektorja (39).

Preglednica 25: Uteži posameznih kriterijev

Kriterij	RCO	SN	Z	IS	SON	PRO
Utež	0.52	0.07	0.08	0.04	0.04	0.24

Preglednica 26: Izbira objektov, ki naj bodo sanirani, na osnovi večkriterijske metode za odločanje (0 = kriterij/objekt ni izbran; 1 = kriterij/objekt je izbran)

	Varianta	A-20%	A	A+20%	B-20%	B	B+20%	C-20%	C	C+20%	D-20%	D	D+20%
		IS	Z	IS	Z	IS	Z	IS	Z	IS	Z	IS	Z
	Šifra objekta	Odločitveni vektor a _i			Odločitveni vektor a _i			Odločitveni vektor a _i			Odločitveni vektor a _i		
1	VA0055	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
2	VA0056	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
3	VA0057	1	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
4	VA0058	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1
5	VA0061	1	1	1	0	1	1	0	1	1	0	0	0
6	VA0062	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
7	VA0066	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
8	VA0069	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	0	1
9	VA0071	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
10	VA0074	1	1	1	0	1	1	1	1	1	0	0	1
11	VA0075	0	0	1	0	1	1	1	1	1	0	1	0
12	VA0077	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
13	VA0079	1	1	1	1	1	1	0	0	1	1	1	1
14	VA0082	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
15	VA0083	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
16	VA0092	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
17	VA0098	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
18	VA0099	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
19	VA0101	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	1	1
20	VA0102	0	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
21	VA0106	1	1	1	0	1	1	0	0	1	0	0	0
22	VA0109	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
23	VA0110	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
24	VA0112	0	0	1	1	0	1	0	0	0	0	1	1
25	VA0113	0	0	0	1	0	1	0	0	0	1	1	1
26	VA0116	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	0	1
27	VA0119	1	1	1	0	1	1	0	0	0	0	0	0
	Σ	19	24	26	17	25	27	11	13	16	13	16	18
	Y _{SK}	98.88	115.25	126.63	92.98	120.49	132.95	62.58	72.67	86.09	68.18	85.79	97.41
	ΣSON [€]	7.99	9.88	11.24	7.72	9.76	11.76	7.86	9.53	11.84	7.92	9.95	11.50



Slika 23: Primerjava koristi v primeru povečanja oziroma zmanjšanja finančnih sredstev za sanacijo izbrane skupine nadvozov (nadvozi so izbrani s pomočjo večkriterijskega modela za odločanje)

V variantah A, B in C smo vključeval in izključeval kriterija indirektnih stroškov in združevanja. V varianti A smo tako izključil uteži indirektnih stroškov in združevanja in težo uteži porazdelili med preostale kriterije sorazmerno s pomembnostjo kriterija. Na tak način smo normirali vektor uteži, enako smo storili v variantah B in C.

8.3 Primerjava rezultatov

Preglednica 27: Primerjava rezultatov 5 in 6 kriterijskega odločanja

		5-kriterijski model				6-kriterijski model			
Varianta		A	B	C	D	A	B	C	D
IS		0	0	1	1	0	0	1	1
Z		0	1	0	1	0	1	0	1
Šifra objekta		Odločitveni vektor a_i				Odločitveni vektor a_i			
1	VA0055	1	1	0	0	1	1	0	0
2	VA0056	1	1	1	1	1	1	0	1
3	VA0057	1	1	0	0	1	1	0	1
4	VA0058	1	1	1	1	1	1	1	1
5	VA0061	1	1	1	1	1	1	1	0
6	VA0062	1	1	0	0	1	1	0	0
7	VA0066	1	1	0	0	1	1	0	0
8	VA0069	1	1	1	1	1	1	0	0
9	VA0071	1	1	1	1	1	1	1	1
10	VA0074	1	1	1	1	1	1	1	0
11	VA0075	0	1	0	0	0	1	1	1
12	VA0077	1	1	1	1	1	1	1	1

se nadaljuje...

...nadaljevanje preglednice 27

13	VA0079	1	1	0	0	1	1	0	1
14	VA0082	1	1	1	1	1	1	1	1
15	VA0083	1	1	1	1	1	1	1	1
16	VA0092	1	1	0	0	1	1	0	0
17	VA0098	1	1	1	1	1	1	1	1
18	VA0099	1	1	1	1	1	1	1	1
19	VA0101	1	1	0	1	1	1	0	1
20	VA0102	1	1	0	0	1	1	0	0
21	VA0106	1	1	0	1	1	1	0	0
22	VA0109	1	1	1	1	1	1	1	1
23	VA0110	1	1	1	1	1	1	1	1
24	VA0112	0	0	0	0	0	0	0	1
25	VA0113	0	0	0	0	0	0	0	1
26	VA0116	1	1	1	1	1	1	1	0
27	VA0119	1	1	0	0	1	1	0	0
	Σ	24	25	14	16	24	25	13	16
	Y_{SK}	118.00	122.60	83.50	90.70	115.25	120.49	72.67	85.79
	Σ_{SON} [10E6 €]	9.88	9.68	9.88	9.44	9.88	9.76	9.53	9.95

Izvedli smo primerjavo naših rezultatov s 5-kriterijskim odločanjem, ki ga je v svojem diplomskem delu uporabil Anžej (Kne, 2007). V našem primeru smo uporabili dodaten kriterij propadanja, ki ima vpliv na razlike v rezultatih. Pri variantah A in B je bila za sanacijo izbrana enaka skupina nadvozov kot s prvotnim, 5-kriterijskim modelom. Do razlike pride le pri izračunu skupne koristi. V 6-kriterijskem modelu, ki upošteva tudi propadanje objekta, imajo uteži posameznih kriterijev različne vrednosti kot tiste v modelu 5-kriterijskega določanja, pri čemer je potrebno opozoriti, da je kriteriju, ki smo ga uvedli v tem delu (propadanje), bila v postopku določanja relativne pomembnosti pripisana relativno velika pomembnost (je drugi najpomembnejši).

V variantah C in D pride do razlike zaradi upoštevanja višjih indirektnih stroškov, kar je posledica višje povprečne neto plače. Razlika med trenutno in primerjano povprečno neto plačo je približno 200 €, kar zviša višino indirektnih stroškov za približno 20%. Pri varianti C ni enake izbire objektov v obeh modelih, ravno zaradi spremembe višine indirektnih stroškov. Obnova posameznega nadvoza se podraži, zaradi enake višine razpoložljivih sredstev v obeh modelih pa pride do izbire manjše skupine nadvozov, primernih za sanacijo. V varianti D imamo izbrano enako količino objektov, to je posledica dodatnega kriterija in vpliva indirektnih stroškov.

9 ZAKLJUČKI

Osnovni namen upravljanja cest je izvajanje gospodarske dejavnosti in zagotavljanje mobilnosti. Gospodarjenje s cestami zahteva poznavanje obstoječega stanja cestne mreže, tako celote, kot tudi njenih delov in poznavanje vizije razvoja, ki ji sledimo za dolgoročno ohranitev omrežja. V okviru upravljanja cest izvajamo vrsto aktivnosti, ki prispevajo k razvoju cestnega omrežja. V končni fazi gre za pripravo strokovnih predlogov o vrsti in obsegu konkretnih ukrepov na cestah, katerih izvedba je odvisna od razpoložljivih finančnih sredstev. Proračunska sredstva so vedno omejena, saj je Ministrstvo za infrastrukturo in prostor le eden izmed vladnih resorjev v državi, cestna infrastruktura pa le eden izmed njegovih programov. Finančne omejitve privedejo k izbiri investicij, ki prinašajo največje koristi.

V diplomski nalogi smo obravnavali skupino sedemindvajsetih nadvoзов nad avtocesto, ki so potrebni obnove. Da bi določili korist, ki jo prinaša sanacija izbranih objektov, smo najprej identificirali ključne kriterije. Ob pogoju omejenih finančnih sredstev nam običajna merila učinkovitosti posameznega kriterija ne omogočajo izbora optimalne izbire objektov primernih za obnovo, saj je metoda preveč konservativna, zato smo razvili večkriterijski model za odločanje oziroma določanje skupine nadvoзов, ki naj bodo sanirani. Identificirali smo šest kriterijev za določitev skupine objektov, katerih skupna korist, ki jo prinaša obnova, je glede na vnaprej izbrane kriterije največja. Izbranim kriterijem smo določili uteži na podlagi mnenj strokovnjakov in tako zmanjšali vpliv subjektivnosti posameznika v celotnem procesu sprejemanja odločitev. Uporabljena metoda za določanje relativnih pomembnosti posameznih kriterijev (AHP) ponuja s kvantifikacijo potencialnih rešitev dobro osnovo za nepristransko in celovito analizo možnih alternativ ter pokaže nekatere skrite vidike in potencialne težave, ki se lahko pojavijo v fazi implementacije projekta.

Finančni proračun za sanacije nadvoзов smo sprva omejili na 10 mio €, nato pa smo preverili vpliv povečanja (20 %) in zmanjšanja (20 %) razpoložljivih finančnih sredstev na izbiro nadvoзов, ki naj bodo deležni obnove. Izvedena analiza kaže, da ima v večini primerov 10 milijonski vložek v sanacije najugodnejše razmerje med celotnimi stroški obnove in pridobljeno koristjo. V primeru, ko se razpoložljiva sredstva zmanjšajo, se korist bistveno zmanjša, v primeru povišanja finančnih sredstev pa se korist ne poveča v enaki meri.

Razviti šest-kriterijski model smo primerjali tudi z večkriterijskim modelom, ki ga je v svojem diplomskem delu uporabil Kne, ki temelji na le petih kriterijih. Pri odločanju s pomočjo prvega in drugega modela pride do razlik zaradi trenutno višjih indirektnih stroškov in dodatnega kriterija propadanja. Ker so odločevalci vrednotili dodatni kriterij (hitrost propadanja) relativno visoko, ugotovimo, da se ta dodatni kriterij uvrsti kot drugi najpomembnejši v hierarhiji in doprinese drugačne preferenčne relacije med posameznimi kriteriji.

Ugotovili smo, da je za izdelavo prognoze obnašanja objekta pomembno pridobiti čim več informacij o stanju objekta v celotni življenjski dobi. Vhodni, pa tudi kasneje pridobljeni podatki analize stanja igrajo bistveno vlogo pri napovedi obnašanja konstrukcije. To pomeni, da je potrebno izvajati preglede objektov v rednih časovnih intervalih, ter da jih morajo izvajati izkušeni pregledovalci.

Na podlagi izvajanja pregledov pridobimo vhodne podatke, ki jih obdelamo ter določimo referenčne točke obnašanja konstrukcije v odvisnosti s časom. Kriterij propadanja smo določili na podlagi naklona krivulje obnašanja nadvozov, ki ga kvantificiramo z ratingom na podlagi vizualne ocene. Kot možnost nadaljevanja študije bi lahko odvod krivulje v nekaj zadnjih referenčnih točkah uporabili za prognozo nadaljnjega obnašanja objekta. Ukrep bi lahko zasnovali kot dodaten kriterij v večkriterijski metodi, ki bi na podlagi odvoda funkcije obnašanja objekta v referenčni točki izkazoval določeno korist.

Zavedati se je potrebno, da vsi matematični modeli in analize samo pomagajo pri odločitvah, zato je rezultate izračuna potrebno preveriti, saj ugoden izračun ne more biti vedno pogoj za uvrstitev konstrukcije v sanacijski načrt. Paziti moramo na konstrukcije, ki potrebujejo sanacijo zaradi zagotavljanja varnosti, čeprav niso koristno upravičene. Model analize vsebuje kot glavni kriterij rating celotnega objekta (RCO), ki je sestavljen iz ratingov posameznih konstrukcijskih sklopov. Problem se pojavi, če je konstrukcijski sklop, ki bistveno ne vpliva na skupno oceno objekta (RCO), tik pred porušitvijo, kot je na primer korodirane ograje, ki je omenjen v razdelku 4.4. Ena od možnosti je uvedba dveh hitrosti propadanja. Prva bi ostala enaka, torej bi koristi določali na osnovi RCO, drug kriterij pa bi bil korist ratinga najbolj kritičnega konstrukcijskega sklopa. S tem ukrepom bi se izognili tako majhnim napakam, kot je korodirana ograja, obenem pa bi preprečili morda zelo tragične nesreče. Pri sanaciji, pa tudi vzdrževanju obravnavanih objektov nastopi problem pristojnosti, saj družba DARS ne upravlja v celoti z avtocestnimi nadvozi, temveč je za njih odgovoren drug cestni upravljavec.

Načrt sanacij mora predvideti potrebo in čas konstruktivnega vzdrževanja za celotno koncesijsko dobo, z zahtevano preostalo življenjsko dobo ob zaključku pogodbe. S skrbno načrtovanim in vodenim procesom planiranja investicij, ter natančno analizo izhodišč, pogojev in posebnosti, zagotovimo racionalno in učinkovito rabo proračunskih sredstev na področju obnove in vzdrževanja na posameznih infrastrukturnih sistemih.

VIRI

Jayapalan, A. 2007. Degradation of concrete due to Deicing Chemicals
<http://people.ce.gatech.edu/~kkurtis/deicers.pdf>

COST 345.2002.

<http://cost345.zag.si/> (21. 11. 2013).

Çopuroğlu, O., Schlangen, E. 2008. Modeling of frost salt scaling. Cement and Concrete Research 38.
27 – 39.

Družba za avtoceste v republiki Sloveniji (DARS d.d.). 2013.

Direkcija republike Slovenije za ceste (DRSC). Ministrstvo za promet
http://www.dc.gov.si/si/delovna_podrocja/promet/ (21. 11. 2013).

Direkcija republike Slovenije za ceste (DRSC). Ministrstvo za promet
http://www.dc.gov.si/si/delovna_podrocja/ceste/ (21. 11. 2013).

Telford, T. 1992. Durable Concrete Structures: Design Guide.

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

Kne, A. 2007. Odločanje v vzdrževanju cestnih objektov: primer skupine nadvozov nad avtocesto.
Diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Likar, A. 2006. Sanacija in zaščita betonskih objektov, poškodovanih zaradi korozije armature.
Diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

Malhotra, V.M., Durability of concrete – a review. str.1-17, Zbornik konference Raymundo Rivera
Int.Symposium on Durability of Concrete (ur. A. Duran-Herrera). 2005.

Mrvar, A. <http://mrvar.fdv.uni-lj.si/sola/info2/saaty/saaty.pdf> (21. 11. 2013). Ljubljana.
Univerza v Ljubljani. Fakulteta za družbene vede.

Organisation for economic co-operation and development. 1992

Prokopski, G. (ur.), Halbiniak, J. (ur.). 2000. Interfacial transition zone in cementitious materials. *Cem.&Concrete Research*. 30(4): 579-583.

Resolucija o prometni politiki Republike Slovenije (RePPRS). Uradni list RS št. 58/2006: 1-5.

Saaty, T. L. 1990. *Multicriteria Decision Making*. Vol 1, *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, 2nd edition, RWS Publications. 437 p.

Statistični urad republike Slovenije (SURS). 2013
http://www.stat.si/novica_prikazi.aspx?id=5845 (21. 11. 2013).

Šelih, J. 2003. Procesi propadanja betona. *Korak* (N. Gorica), let.4, št. 1, str. 28-30.

Šelih, J. 2003. Procesi propadanja betona. *Korak* (N. Gorica), let.4, št. 2, str. 27-28.

SIST EN 197-1:2011. Cement – 1. del: Sestava, zahteve in merila skladnosti za običajne cemente

Uranjek, M. 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/seminar.htm> (21. 11. 2013)

COST 345. 2000. Postopki za vrednotenje cestnih konstrukcij. Žnidarič, A. (ur.), Bevc, L. (ur.). 5. slovenski kongres o cestah in prometu. Bled, 25. - 27. oktober 2000. Ljubljana. Zavod za gradbeništvo Slovenije.

Žnidarič, J. 1996. Trajnost armiranobetonskih konstrukcij. *Gradbeni vestnik*, Ljubljana, 171-211

Zakon o javnih cestah (ZJC). Uradni list RS št. 29/1997: 1-83.

Zakon o gradbenih proizvodih (ZGPro). Ur. list RS št. 52/2000: 1-39.

Žarnić, R. 2000. Osnovne lastnosti gradiv. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za preskušanje materialov in konstrukcij: 319.

Žarnić, R. 2000. Lastnosti gradiv. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za preskušanje materialov in konstrukcij: 88.

PRILOGA A: HITROST PROPADANJA

Preglednica A: Rating celotnega objekta za posamezen objekt razvrščeni po letu pregleda

	Šifra odseka	Leto pregleda				
		1993	2002	2003	2005	2007
1	0034	5.84	3.53	/	3.53	4.29
2	0035	3.59	8.27	/	8.27	9.02
3	0035	3.97	6.35	/	6.61	6.61
4	0036	5.83	8.69	/	9.03	9.03
5	0036	0.9	9.11	/	9.92	9.92
6	0036	2.98	6.38	/	6.78	6.78
7	0036	1.67	5.45	/	5.45	5.45
8	0036	6.39	10.97	12.57	12.57	12.57
9	0037	10.44	11.61	11.61	11.61	11.61
10	0037	4.1	8.17	12.57	12.57	12.57
11	0037	6.74	9.51	9.51	9.51	9.51
12	0037	4.72	12.3	13.5	13.5	13.74
13	0037	2.33	4.67	4.67	4.67	4.77
14	0038	8.35	11.41	11.41	11.41	11.89
15	0038	7.19	11.3	14.9	14.9	15.01
16	0038	4.21	5.32	5.32	5.32	6.29
17	0038	2.64	9.97	9.97	9.97	10.17
18	0039	6.94	8.96	9.59	9.59	9.87
19	0039	1.88	4.38	4.38	4.38	5.27
20	0039	2.66	6.26	6.26	6.26	6.96
21	0039	6.38	6.99	6.99	6.99	7.37
22	0073	7.56	8.61	8.61	9.11	9.11
23	0073	9.16	9.78	9.78	9.83	9.83
24	0040	8.48	14.18	14.18	11.84	11.84
25	0040	9.51	14.28	14.28	14.89	14.89
26	0040	14.91	15.25	17.95	18.05	18.05
27	0040	7.02	9.83	9.83	10.07	10.07

V preglednici A so razvrščeni ratingi celotnega objekta (RCO) za izbrane nadvoze, ki so pridobljeni na podlagi pregledov iz let 1993, 2002, 2003, 2005 in 2007. Za prvih sedem objektov ni bilo podatka opravljenega pregleda, zato smo pri izračunu hitrosti propadanja upoštevali samo štiri preglede. Najprej smo izračunali hitrost propadanja za časovne odseke med pregledi po enačbi (8). Iz dobljenih štirih hitrosti propadanja za vsak objekt smo izračunali povprečno hitrost propadanja, saj so se med pregledi vršile sanacije in je prišlo do povišanja RCO. Dobljenim povprečnim hitrostim smo izračunali korist in jo uporabil kot dodaten kriterij v večkriterijskem modelu odločanja.