

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/>

V zbirki je izvirna različica doktorske disertacije.

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

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 an original PDF file of doctoral thesis.

When citing, please refer as follows:

Kušar, M. 2014. Razvoj sistema za upravljanje s premostitvenimi objekti na cestah in avtocestah. = Development of bridge management system for roads and highways. Doctoral dissertation. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (Mentorica Šelih, J.)

<http://drugg.fgg.uni-lj.si>

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



DOKTORSKI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM III. STOPNJE  
GRAJENO OKOLJE

Kandidat:  
**mag. MATEJ KUŠAR**

**RAZVOJ SISTEMA ZA UPRAVLJANJE S  
PREMOSTITVENIMI OBJEKTI NA CESTAH IN  
AVTOCESTAH**

Doktorska disertacija številka: 14/GO

**DEVELOPMENT OF BRIDGE MANAGEMENT SYSTEM  
FOR ROADS AND HIGHWAYS**

Doctoral thesis No.: 14/GO

Soglasje k temi doktorske disertacije je dala Komisija za doktorski študij Univerze v Ljubljani na 28. seji 16. maja 2012.

Za mentorico je bila imenovana izr. prof. dr. Jana Šelih.

Ljubljana, 25. september 2014

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



**Komisijo za oceno ustreznosti teme doktorske disertacije v sestavi:**

- izr. prof. dr. Jana Šelih,
- prof. dr. Roko Žarnić,
- doc. dr. Andrej Štrukelj, UM FG,

je imenoval Senat Fakultete za gradbeništvo in geodezijo na 28. seji 29. februarja 2012.

**Poročevalce za oceno doktorske disertacije v sestavi:**

- prof. dr. Roko Žarnić,
- izr. prof. dr. Marijan Žura,
- izr. prof. dr. Andrej Štrukelj, UM FG,

je imenoval Senat Fakultete za gradbeništvo in geodezijo na 11. seji 28. maja 2014.

**Komisijo za zagovor doktorske disertacije v sestavi:**

- prof. dr. Matjaž Mikoš, dekan UL FGG, predsednik,
- izr. prof. dr. Jana Šelih, mentorica,
- prof. dr. Roko Žarnić,
- izr. prof. dr. Marijan Žura,
- izr. prof. dr. Andrej Štrukelj, UM FG,

je imenoval Senat Fakultete za gradbeništvo in geodezijo na 5. dopisni seji, ki je potekala od 2. 9. 2014 do 8. 9. 2014

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



## IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **mag. Matej Kušar** izjavljam, da sem avtor doktorske disertacije z naslovom **Razvoj sistema za upravljanje s premostitvenimi objekti na cestah in avtocestah.**

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

Izjavljam, da dovljujem objavo elektronske različice v digitalnih repozitorijih.

Ljubljana, 25. september 2014

.....  
(podpis)

Ta stran je namenoma prazna.

## ERRATA

<b>Stran z napako</b>	<b>Vrstica z napako</b>	<b>Namesto</b>	<b>Naj bo</b>
-----------------------	-------------------------	----------------	---------------

Ta stran je namenoma prazna.

## **BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN**

**UDK:** 519.8:656.1:(043.3)  
**Avtor:** mag. Matej Kušar  
**Mentor:** izr. prof. dr. Jana Šelih  
**Somentor:** -  
**Naslov:** Razvoj sistema za upravljanje s premostitvenimi objekti na cestah in avtocestah  
**Obseg in oprema:** 150 str., 13 pregl., 54 sl., 53 en., 3 pril.  
**Ključne besede:** premostitveni objekti, pregledi, upravljanje, propadanje, večkriterijsko odločanje

### **IZVLEČEK**

Učinkovito upravljanje s premostitvenimi objekti na slovenskih državnih cestah pomembno vpliva na uporabnost tega infrastrukturnega sistema. Zato je namen doktorske disertacije izboljšanje obstoječega načina upravljanja s premostitvenimi objekti na slovenskih državnih cestah. Na podlagi sistematične analize stanja objektov smo utemeljili in razvili večkriterijski odločitveni sistem, ki kot končni rezultat poda prednostni seznam objektov, potrebnih sanacije. Sistem je deljen na projektni in omrežni nivo. Na projektnem nivoju določimo izbranim kriterijem za posamezen objekt vrednosti, na omrežnem nivoju pa nato vrednosti združimo v tehnični in finančni vidik. Na podlagi presoje s tehničnega vidika izdelamo prednostni seznam objektov, s pomočjo presoje s finančnega vidika pa določimo obseg sanacijskih del na posameznem objektu. Obseg sanacijskih del je pri tem odvisen od stanja omrežja in letno razpoložljivih finančnih sredstev. Finančni vidik omogoča tudi oceno potrebnih minimalnih finančnih sredstev za vzdrževanje stanja omrežja za petletno obdobje. Med izbranimi kriteriji smo največjo pozornost namenili določanju hitrosti propadanja objektov, pri čemer smo ugotavljali učinek več vplivov na hitrosti procesov propadanja. V ta namen smo analizirali podatke rednih in glavnih pregledov za preko tisoč premostitvenih objektov v obdobju dvajsetih let. Analiza razpoložljivih podatkov je pokazala, da imajo na hitrost propadanja največji učinek podnebni vplivi in prisotnost vode pod objekti, medtem ko vpliva izbrani konstrukcijski material na hitrost propadanja le v manjši meri. Rezultati analize obnašanja obravnavane skupine objektov nadalje kažejo, da ima prometna obremenitev na hitrost propadanja zanemarljiv vpliv.



## **BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION**

**UDC:** 519.8:656.1:(043.3)  
**Author:** Matej Kušar, M.Sc.  
**Supervisor:** assoc. prof. Jana Šelih, Ph.D.  
**Co-supervisor:** -  
**Title:** Development of bridge management system for roads and highways  
**Notes:** 150 p., 13 tab., 54 fig., 53 eq., 3 ann.  
**Key words:** bridge management, inspection, deterioration, multi-criteria decision making

### **ABSTRACT**

The objective of dissertation is to improve the existing methods of management of bridge network on Slovenian roads. To achieve this, a multi-criteria decision support system which as a final result submits a priority list of bridges in need of remediation was developed. The system is divided into project and network level. On the project level values of the selected criteria are determined, while on the network level the obtained values are combined in technical and financial aspect. On technical aspect basis priority list is developed and on financial aspect basis extent of remedial works on each bridge on the priority list is determined. Remedial works are prescribed depending upon bridge network condition and annually available financial resources. In addition, financial aspect enables projection of the necessary financial resources to maintain the network status for the five-year period. Among the selected criteria highest attention was given to determining the deterioration rate of bridges. Effects of multiple parameters of influence upon the speed of deterioration were assessed. Data of regular and main inspections of over thousand bridges over a twenty year period were analysed. Analysis of the available data showed that climate and presence of water under the bridge have the largest impact upon the deterioration processes while the influence of structural material is visibly smaller. According to the analysed data there is no correlation between traffic load and deterioration processes.

## ZAHVALA

Moji Jelki iz vsega srca hvala za vse, kar je storila in vso podporo, ki jo je dala na mnogih področjih ter s tem omogočila izdelavo doktorske disertacije. Mentorici izr. prof. Jani Šelih se iskreno zahvaljujem za njeno znanje, ki ga je delila z mano in za ustvarjanje delovnega okolja, v katerem sem tudi v času intenzivnega dela vedno čutil sproščenost. Svoji mami pa se zahvaljujem za vzgojo, ki sem je bil deležen v mladih letih in me, večino časa nevede, uspešno vodi skozi življenje.

Sodelavcem na Gradbenem inštitutu ZRMK, s katerimi smo skupaj že desetletje in smo si vedno delili znanje in izkušnje, se zahvaljujem za njihov viden doprinos pri izdelavi in kakovosti disertacije. Direkciji za ceste RS se zahvaljujem za dostop do baze podatkov slovenskih premostitvenih objektov, ki tvorijo osnovo doktorskega dela. Brez njih delo ne bi bilo izvedljivo.

## KAZALO VSEBINE

IZJAVA O AVTORSTVU .....	I
ERRATA .....	III
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN .....	V
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION .....	VI
ZAHVALA .....	VII
1 UVOD .....	1
1.1 OPREDELITEV PROBLEMA .....	1
1.2 NAMEN IN CILJ DOKTORSKEGA DELA .....	2
1.3 METODA DELA .....	3
2 PREGLED LITERATURE .....	5
2.1 TUJINA .....	5
2.1.1 Zgodovinski razvoj BMS in pregled stanja .....	5
2.1.2 Pregledi objektov .....	12
2.1.3 Določitev stanja objektov .....	14
2.1.4 Analiziranje zajetih podatkov in optimizacija odločitev .....	17
2.2 REPUBLIKA SLOVENIJA .....	27
3 PREGLED OBSTOJEČIH SISTEMOV UPRAVLJANJA .....	37
3.1 TUJINA .....	37
3.1.1 Združene države Amerike .....	37
3.1.2 Nemčija .....	42
3.1.3 Finska .....	43
3.1.4 Ostale države .....	44
3.2 REPUBLIKA SLOVENIJA .....	44
3.2.1 Metodologija .....	44
3.2.2 Izvedba pregleda in izdelava zapisnika .....	48
4 ZASNOVA SISTEMA ZA UPRAVLJANJE .....	52
4.1 SPLOŠNO .....	52
4.2 DELOVNI PROTOKOL SISTEMOV .....	53
4.2.1 Izvajanje terenskih pregledov .....	54
4.2.2 Določitev obstoječega stanja objektov .....	55
4.2.3 Analiziranje zajetih podatkov in izbira kriterijev .....	56
4.2.4 Odločanje .....	57
4.3 ZASNOVA PREDLAGANEGA ODLOČITVENEGA SISTEMA .....	58
4.3.1 Izbira kriterijev .....	59
4.3.2 Struktura projektnega nivoja sistema .....	63

4.3.3	Struktura omrežnega nivoja sistema.....	66
4.3.4	Omejitve .....	72
5	SESTAVNI DELI PROJEKTNEGA DELA SISTEMA .....	76
5.1	OCENA OBSTOJEČEGA STANJA .....	76
5.1.1	Stopnja ogroženosti.....	77
5.1.2	Stopnja poškodovanosti.....	78
5.2	DOLOČANJE HITROSTI PROPADANJA OBJEKTOV .....	79
5.2.1	Vrste modelov propadanja.....	80
5.2.2	Izbrani model propadanja .....	83
5.2.3	Izbira upoštevanih vplivov.....	84
5.2.4	Statistična analiza in urejanje razpoložljivih podatkov .....	89
5.2.5	Določitev hitrosti propadanja v odvisnosti od upoštevanih vplivov.....	97
5.2.6	Določitev hitrosti propadanja konstrukcijskim sklopom.....	110
5.2.7	Izračun stopnje nadaljnega propadanja.....	115
5.3	VARNOST PRI UPORABI .....	115
5.4	MOŽNOST OBVOZA IN STROŠKI UPORABNIKOV.....	116
5.4.1	Izračun dnevnih stroškov uporabnikov .....	117
5.4.2	Umestitev vrednosti v razrede .....	119
5.5	STROŠKI SANACIJE .....	120
5.6	KOEFICIENT IZBOLJŠANJA .....	122
5.7	ANALIZA STROŠKOV IN KORISTI.....	122
6	UPORABA SISTEMA.....	125
6.1	INTEGRACIJA SESTAVNIH DELOV NA OMREŽNEM NIVOJU .....	125
6.1.1	Funkcija stanja in stroški uporabnikov .....	125
6.1.2	Stroški izvedbe sanacije in koeficient izboljšanja .....	126
6.1.3	Prikaz povezav in odvisnosti posameznih delov sistema v procesu odločanja 127	
6.2	UPORABA MODELA NA PRAKTIČNEM PRIMERU.....	129
6.2.1	Potek dela .....	129
6.2.2	ANALIZIRANJE REŠITEV .....	131
7	ZAKLJUČKI IN RAZPRAVA .....	132
7.1	UGOTOVITVE IN REZULTATI.....	132
7.2	PRISPEVEK DOKTORSKE DISERTACIJE.....	133
7.3	PRIPOROČILA IN NAPOTKI ZA NADALJNJE DELO.....	134
	POVZETEK .....	136
	SUMMARY .....	138

## KAZALO SLIK

Slika 2.1: Porušen most Reichsbrücke na Dunaju 1. avgusta 1976 (Reichsbrucke, 2012) .....	6
Slika 2.2: Porušen most "Silver Bridge" čez reko Ohio v Zahodni Virginiji 15. decembra 1967 (Rossow, 2006).....	6
Slika 2.3: Stroški prometnih zastojev kot posledica pomanjkanja sredstev za vzdrževanje premostitvenih objektov (Woodward in sod., 2001) .....	8
Slika 2.4: Glavni koraki pri procesu odločanja v sklopu BMS (Woodward in sod., 2001) .....	9
Slika 2.5: Shema razvrščanja mostov po prioriteti (Woodward in sod., 2001).....	10
Slika 2.6: Struktura večkriterijske metode rangiranja (Dabous in Alkass, 2010) .....	17
Slika 2.7: Razčlenitev stroškov na posamezne subjekte v sklopu LCC (El-Fatah Safi, 2009) .....	20
Slika 2.8: Razčlenitve stroškov upravljalca v sklopu LCC (El-Tatah Safi, 2009) .....	21
Slika 2.9: Vrsta BMS in integracija posameznih ravni sistema (Hegazy in sod., 2004) .....	22
Slika 2.10: Komponente kombiniranega BMS (Hegazy in sod., 2004).....	23
Slika 2.11: Ogrodje več-elementnega BMS (Elbehairy, 2007).....	24
Slika 2.12: Pareto optimalna lokacija rešitev (Furuta in Kameda, 2006).....	26
Slika 2.13: Stroški v odvisnosti od stanja objektov (Mannisto in sod., 2001).....	27
Slika 2.14: Povezanost delovnih faz izdelave poročila o stanju objekta (Cafnik, 1985).....	28
Slika 2.15: Prikaz makro logike povezav posameznih skupin aktivnosti za doseg optimalnega načina vzdrževanja – sanacije armiranobetonskih konstrukcij (Cafnik, 1992) ..	30
Slika 2.16: Algoritem odločanja o optimalni alternativni rešitvi "Aopt" za izvedbo sanacije (Cafnik, 1992) .....	31
Slika 2.17: Predlog poteka zbiranja in obdelave podatkov ter razvrščanja objektov po prioritetah v sistemu upravljanja mostov (Žnidarič, 1995).....	33
Slika 3.1: Možne ocene stanj gumenih dilatacij v sistemu Pontis (Pontis Bridge Inspection Manual, 2007).....	39
Slika 3.2: Možne ocene stanj nosilnih jeklenih elementov v sistemu Pontis (Pontis Bridge Inspection Manual, 2007).....	40
Slika 3.3: Prikaz zapisa za posamezen most v komercialnem programu Pontis (Pontis Update, 2010) .....	41
Slika 3.4: Prikaz zapisa za analizo omrežja mostov v komercialnem programu Pontis (Pontis Update, 2010) .....	41
Slika 3.5: Proces izvajanja del na projektnem nivoju BMS (BAST, 2012a) .....	42
Slika 3.6: Proces izvajanja del na omrežnem nivoju BMS (BAST,2012a) .....	42
Slika 3.7: Prikaz zapisa poškodbe v digitalni obliki (vir: GI ZRMK d.o.o.) .....	47
Slika 3.8: Prikaz prve strani zapisnika z osnovnimi informacijami o objektu (vir: GI ZRMK	

d.o.o.) .....	50
Slika 4.1: Struktura predlaganega odločitvenega sistema .....	59
Slika 4.2: Predlog osnovnih komponent BMS (AASHTO, 2001) .....	60
Slika 4.3: Možni kriteriji v sklopu BMS.....	61
Slika 4.4: Izbrani kriteriji za sistem za upravljanje s premostitvenimi objekti v RS .....	63
Slika 4.5: Struktura projektnega nivoja BMS .....	65
Slika 4.6: Izhodni podatki projektnega nivoja BMS.....	65
Slika 4.7: Struktura omrežnega nivoja BMS .....	71
Slika 4.8: Upoštevana časovna obdobja v posameznih BMS (Adey in sod., 2010) .....	72
Slika 5.1: Karta podnebnih tipov na območju Republike Slovenije (Založba Modrijan, podnebni tipi, 2012) .....	86
Slika 5.2: Določevanje hitrosti propadanja objektov s pomočjo linearne regresije a) za primer brez upoštevanja in b) za primer z upoštevanjem izvedbe sanacijskih posegov.....	93
Slika 5.3: Primeri gibanja vrednosti ratingov 6 objektov med leti 1993 in 2011 za: a) dejanski podatki za celotna obdobja, b) obdelani podatki (kjer odstranimo niz podatkov pred ali po prenovi).....	94
Slika 5.4: Primeri naraščanja ratinga poškodovanosti za 8 objektov med leti 1993 in 2011: a) dejanski podatki pregledov, b) po odstranitvi skupine podatkov, ki najbolj odstopajo od regresijske premice, v nizu (v vseh nizih je zabeležen leta 2006 in je najverjetneje posledica nezanesljive presoje ocenjevalca v tem letu) .....	97
Slika 5.5: Primer regresijske premice za rating poškodovanosti.....	98
Slika 5.6: Večanje stopnje poškodovanosti s časom v odvisnosti od izbrane kombinacije vplivov za: a) celotno konstrukcijo objekta, b) cestišče.....	102
Slika 5.7: Večanje stopnje poškodovanosti s časom v odvisnosti od vrste podnebja.....	104
Slika 5.8: Spremembe stopnje poškodovanosti s časom prekladnih konstrukcij v odvisnosti od podnebnega tipa in vrste materiala .....	105
Slika 5.9: Korozija spodnje pasnice na jeklenem mostu GO 0120.....	105
Slika 5.10: Propadla malta in izpadli kamni iz kamnitega oboka mostu LJ 0289.....	105
Slika 5.11: Večanje stopnje poškodovanosti objektov s časom v celinskem podnebj v odvisnosti od materiala .....	108
Slika 5.12: Večanje stopnje poškodovanosti armiranobetonskih objektov s časom v celinskem podnebj v odvisnosti od funkcije objekta (most ali viadukt) .....	109
Slika 5.13: Večanje stopnje poškodovanosti spodnjih konstrukcij v odvisnosti od časa po posameznih kombinacijah vplivov .....	111
Slika 5.14: Večanje stopnje poškodovanosti prekladnih konstrukcij v odvisnosti od časa po posameznih kombinacijah vplivov .....	113
Slika 5.15: Naraščanje stopnje poškodovanosti cestiščnih elementov v odvisnosti od časa in	

podnebnega tipa .....	114
Slika 6.1: Povezave in odvisnosti med vhodnimi podatki, procesi in izhodnimi podatki na projektnem nivoju.....	128
Slika 6.2: Povezave in odvisnosti med vhodnimi podatki, procesi in omejitvami na omrežnem nivoju .....	129
Slika 6.3: Prikaz glave aplikacije z osnovnimi podatki .....	129
Slika 6.4: Prikaz izračunanih vrednosti funkcije prioritizacije, stroškov sanacije in koeficientov izboljšanja za posamezen objekt.....	130
Slika 6.5: Prikaz vrednosti potrebnih in razpoložljivih finančnih sredstev ter vsot vrednosti funkcij prioritizacije po posameznih letih .....	131

## LIST OF FIGURES

Figure 2.1: Collapsed Reichsbrücke bridge in Vienna on 1. August 1976 (Reichsbrucke, 2012) .....	6
Figure 2.2: Collapsed "Silver Bridge" over the Ohio river in West Virginia 15. December 1967 (Rossow, 2006).....	6
Figure 2.3: The cost of traffic congestion as a result of a lack of funds for maintenance of bridge structures (Woodward et al., 2001) .....	8
Figure 2.4: Main steps in the decision-making process within the BMS (Woodward et al., 2001) .....	9
Figure 2.5: Scheme of classification of bridges by priority (Woodward et al., 2001) .....	10
Figure 2.6: Hierarchy structure for the ranking method (Dabous and Alkass, 2010).....	17
Figure 2.7: Cost breakdown for individual entities within the LCC (El-Fatah Safi, 2009).....	20
Figure 2.8: Construction and operating costs breakdown within the LCC (El-Tatah Safi, 2009) .....	21
Figure 2.9: Types of BMS and integration of their individual levels (Hegazy et al., 2004).....	22
Figure 2.10: Components of combined BMS (Hegazy et al., 2004).....	23
Figure 2.11: Multi-element BMS framework (Elbehairy, 2007) .....	24
Figure 2.12: Pareto optimal location solution (Furuta and Kameda, 2006) .....	26
Figure 2.13: Costs as a function of bridge condition (Mannisto et al., 2001).....	27
Figure 2.14: Report work stages connections (Cafnik, 1985) .....	28
Figure 2.15: Macro logic connections between the groups of activities to achieve optimal maintenance – reinforced concrete structure rehabilitation (Cafnik, 1992) .....	30
Figure 2.16: Decision-making algorithm for determining the optimal solution "Aopt" for the implementation of structure rehabilitation (Cafnik, 1992).....	31
Figure 2.17: Collection and processing of data proposal with classifying structures according to priorities in the BMS (Žnidarič, 1995).....	33
Figure 3.1: Possible assessments of the rubber expansion joint states in the Pontis system (Pontis Bridge Inspection Manual, 2007).....	39
Figure 3.2: Possible assessments of the bearing steel elements states in the Pontis system (Pontis Bridge Inspection Manual, 2007).....	40
Figure 3.3: Record for an individual bridge in the commercial program Pontis (Pontis Update, 2010) .....	41
Figure 3.4: Record of the bridge network analysis in the commercial program Pontis (Pontis Update, 2010).....	41
Figure 3.5: BMS project level work process (BASt, 2012a) .....	42



Figure 3.6: BMS network level work process (BASt, 2012a) .....	42
Figure 3.7: Damage report in digital form (source: GI ZRMK d.o.o.).....	47
Figure 3.8: Front page of the report with basic information about the structure (source: GI ZRMK d.o.o.) .....	50
Figure 4.1: Framework for the proposed decision-making system.....	59
Figure 4.2: BMS basic components proposal (AASHTO, 2001) .....	60
Figure 4.3: Possible criteria within BMS .....	61
Figure 4.4: Criteria chosen for the bridge management system in RS.....	63
Figure 4.5: Framework of project level BMS.....	65
Figure 4.6: Data output of project level BMS .....	65
Figure 4.7: Framework for network level BMS.....	71
Figure 4.8: Time periods under consideration in various BMS (Adey et al., 2010).....	72
Figure 5.1: Climate types in the Republic of Slovenia (Založba Modrijan, podnebni tipi, 2012) .....	86
Figure 5.2: Determination of deterioration rate by using linear regression a) for actual inspection data and b) for processed data (where the remedial occurrence is taken into the account).....	93
Figure 5.3: Examples of condition ratings for 6 individual bridges between 1993 and 2011: a) Actual inspection data, b) Processed data (ratings either before or after rehabilitation are removed from original datasets).....	94
Figure 5.4: Examples of condition ratings for 8 individual bridges between 1993 and 2011 for: a) Actual inspection data, b) Processed data, where the rating values recorded in 2006 are removed (inconsistency of trend is judged to be a consequence of inspector's unreliable judgment).....	97
Figure 5.5: Example of condition rating regression line .....	98
Figure 5.6: Deterioration development with time as a function of selected parameters of influence for: a) bridge, b) bridge deck .....	102
Figure 5.7: Deterioration development with time as a function of climate type.....	104
Figure 5.8: Deterioration development with time for bridge superstructures as a function of climate type and material type.....	105
Figure 5.9: Bottom flange corrosion on bridge GO 0120 .....	105
Figure 5.10: Deteriorated mortar and loose stone blocks on the stone arch of bridge LJ 0289 .....	105
Figure 5.11: Deterioration development over time in the continental climate as a function of material type .....	108
Figure 5.12: Deterioration development over time of reinforced bridges and passes in the continental climate as a function of structural type .....	109

Figure 5.13: Deterioration development for bridge substructures over time as a function of climate type, material type and structural type .....	112
Figure 5.14: Deterioration development for bridge superstructures over time as a function of climate type and material type .....	113
Figure 5.15: Deterioration development for bridge decks over time as a function of climate type.....	114
Figure 6.1: Relationships and dependencies between input data, processes and output data on project level.....	128
Figure 6.2: Relationships and dependencies between input data, processes, constraints and objective on network level.....	129
Figure 6.3: Front page of the application with basic information .....	129
Figure 6.4: Calculated values for prioritization function, rehabilitation costs and improvement coefficients for a individual bridge .....	130
Figure 6.5: Display of annually required and available funds and sums of prioritization functions.....	131

## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 3.1: Ocena stanja podkonstrukcije objekta v sklopu standarda NBIS (Bridge Inspection Manual, 2009).....	38
Preglednica 3.2: Možne ocene stanj nosilnih jeklenih elementov v sistemu Pontis (Pontis Bridge Inspection Manual, 2007).....	40
Preglednica 3.3: Določitev poškodbenih razredov glede na vrednosti ratinga R (Žnidarič in sod., 1990).....	47
Preglednica 5.1: Razvrstitev prometnih obremenitev skladno s TSC (TSC 06.511:2009).....	87
Preglednica 5.2 Razvrstitev prometnih obremenitev za potrebe razvoja predlaganega sistema za upravljanje .....	87
Preglednica 5.3: Izbrani vplivi in njihove vrednosti .....	89
Preglednica 5.4: Število posameznih vrst objektov glede na prometno obremenitev in podnebni tip .....	90
Preglednica 5.5: Število objektov primernih za analizo po posameznih kombinacijah vplivov .....	91
Preglednica 5.6: Primer izpisa ratingov iz baze podatkov za objekt CE0002.....	92
Preglednica 5.7: Povprečne letne hitrosti večanja poškodovanosti za a) cestišča armiranobetonskih mostov, b) podkonstrukcije armiranobetonskih mostov in c) vse konstrukcijske sklope armiranobetonskih mostov v celinskem podnebj.....	99
Preglednica 5.8: Kombinacije vplivov za katere so hitrosti propadanja določene .....	110
Preglednica 5.9: Predlagani obratovalni stroški vozil na kilometer prevožene poti za leto 2014 .....	119
Preglednica 5.10: Razvrstitev dnevni stroškov uporabnikov v razrede - $RS_{up}$ .....	120

## LIST OF TABLES

Table 3.1: Bridge substructure assessment with NBIS standard (Bridge Inspection Manual, 2009) .....	38
Table 3.2: Possible states of load-bearing steel elements in the Pontis system (Pontis Bridge Inspection Manual, 2007).....	40
Table 3.3: Bridge damage classes as a function of rating R (Žnidarič et al., 1990) .....	47
Table 5.1: Traffic load classification in accordance with TSC (TSC 06.511:2009).....	87
Table 5.2: Traffic load classification for the proposed bridge management system .....	87
Table 5.3: Identified parameters of influence and range of assigned values belonging to each parameter .....	89
Table 5.4: Number of individual material types of bridges divided depending on traffic load and climate type.....	90
Table 5.5: Number of bridges under consideration, structured with respect to the parameters of influences .....	91
Table 5.6: Database rating outputs for structure CE0002.....	92
Table 5.7: Average deterioration rates for a) reinforced concrete bridge decks, b) reinforced concrete substructures, c) reinforced bridges, located in continental climate, for light (L), medium (M) and heavy (H) traffic load. ....	99
Table 5.8: Influences combinations for which the rates of deterioration are determined.....	110
Table 5.9: Proposed vehicle operating costs per kilometer for year 2014.....	119
Table 5.10: Daily users costs classification - $RS_{up}$ .....	120

## KAZALO OKRAJŠAV

AASHTO	..... Ameriško združenje za državne avtocestne in prometne uradnike (ang. <i>American Association for State Highways and Transportation Officials</i> )
BASt	..... Nemški zvezni avtocestni raziskovalni inštitut (nem. <i>Bundesanstalt für Straßenwesen</i> )
BCR	..... rating stanja objekta (ang. <i>Bridge Condition Rating</i> )
BMS	..... sistem upravljanja mostov (ang. <i>Bridge management system</i> )
BRIDGIT	..... ameriški komercialni sistem za upravljanje z mostovi (ang. <i>Bridge Information Tehnology</i> )
BRIME	..... Evropski projekt upravljanja z mostovi (ang. <i>Bridge management in Europe</i> )
CBA	..... Analiza stroškov in koristi (ang. <i>Cost Benefit Analysis</i> )
DIN 1076	..... Nemški standard za pregledovanje in testiranje inženirskih objektov povezanih s cestami (nem. <i>Standard für Ingenieurbauwerke im Zuge von Straßen und Wegen - Überwachung und Prüfung</i> )
DOS	..... operacijski sistem za osebne računalnike (ang. <i>Disk operating System</i> )
DRSC	..... Direkcija Republike Slovenije za ceste
FHWA	..... Ameriška zvezna uprava za avtoceste (ang. <i>Federal Highway Administration</i> )
FINNRA	..... Finska državna agencija za ceste (ang. <i>Finnish National Road Agency</i> )
GI ZRMK	..... Gradbeni inštitut ZRMK
HI	..... indeks zdravja (ang. <i>Health Index</i> )
IABMAS	..... Mednarodno združenje za vzdrževanje in varnost mostov (ang. <i>International Association for Bridge Maintenance and Safety</i> )
LCC	..... Analiza življenjskih stroškov (ang. <i>Life Cycle Costs</i> )
ME-BMS	..... Več elementni sistem upravljanja mostov (ang. <i>Multi-element Bridge Management System</i> )
MEDIC	..... Metoda napovedovanja preostale življenjske dobe in potrebnega proračuna za investicije (fr. <i>Méthode d'Evaluation de scénarios de Dégradation probables d'Investissements Correspondants</i> )
MPI	..... indeks prednostnega vzdrževanja (ang. <i>Maintenance Priority Index</i> )
NBIS	..... Ameriški standard za pregledovanje mostov (ang. <i>National Bridge Inspection Standards</i> )
PLDP	..... povprečni letni dnevni promet

RF	..... rating faktor
RS	..... Republika Slovenija
SAZU	..... Slovenska akademija znanosti in umetnosti
TSC	..... tehnična specifikacija za javne ceste
WIM	..... metoda tehtanja vozil med vožnjo (ang. <i>Weigh-in motion</i> )
ZDA	..... Združene države Amerike
ZRC	..... Znanstveno raziskovalni center
ZRMK	..... Zavod za raziskavo materialov in konstrukcij
AB	..... armiranobetonski objekt
AC	..... avtoceste
$B_j$	..... osnovna vrednost poškodbe ali napake $j$
$B_y$	..... razpoložljiva finančna sredstva v letu $y$
C	..... povprečna globina korozije
$C_e$	..... strošek izdelave elementa na enoto
$C_e$	..... celinsko podnebje
$C_i$	..... stanje elementa (Wakchaure in Jha, 2012)
$C_l$	..... podnebni tip
$C_s$	..... cestišče objekta
$C_r$	..... stopnja poškodovanosti
C/B	..... razmerje stroškov in koristi
$D_{eff}$	..... difuzijski koeficient suhega karbonatiziranega betona
$D_i$	..... delež elementa
$F_i$	..... funkcija prioritete objekta
$F_i$	..... pomanjkljivost ali poškodba (Hearn, 1999)
$F_i$	..... faktor pomembnosti poškodbe (Gattulli in Chiaramonte, 2005)
$G_n$	..... vpliv stalne obtežbe v kritičnem prerezu
$G_r$	..... gorsko podnebje
$I_o$	..... indeks ogroženosti
$I_p$	..... indeks poškodovanosti
J	..... jeklen objekt
K	..... kamniti objekt
$K(I_o)$	..... koeficient indeksa ogroženosti
$K(I_p)$	..... koeficient indeksa poškodovanosti
$K_{1,k}$	..... korekcijski faktor pomena elementa
$K_{2,j,k}$	..... korekcijski faktor jakosti poškodbe
$K_{3,j,k}$	..... korekcijski faktor razširjenosti poškodbe

$K_{4,j,k}$	..... korekcijski faktor nujnosti intervencije
$K_C$	..... faktor hitrosti karbonatizacije
$K_i$	..... utež pomanjkljivosti ali poškodbe (Hearn, 1999)
$K_j$	..... utež elementa (Wakchaure in Jha, 2012)
$K_{mi}$	..... faktor pomembnosti elementa
$K_{di}$	..... faktor jakosti poškodbe
$K_{ei}$	..... faktor razširjenosti poškodbe
$K_S$	..... konstrukcijski sklop
$K_{ui}$	..... nujnost intervencije
$KS$	..... konstrukcijski sklop
$L$	..... lahka prometna obremenitev
$M$	..... objekt opravlja funkcijo mostu
$M_i$	..... konstrukcijski material
$Q_e$	..... količina elementa
$Q_n$	..... vpliv prometne obtežbe v kritičnem prerezu
$P$	..... prednapeti objekt
$PP$	..... letni prirastek poškodovanosti
$PP_{pod}$	..... letni prirastek poškodovanosti podkonstrukcije
$PP_{pre}$	..... letni prirastek poškodovanosti prekladne konstrukcije
$PP_{voz}$	..... letni prirastek poškodovanosti vozišča
$P_i$	..... prometna obremenitev
$P_o$	..... podkonstrukcija objekta
$P_r$	..... prekladna konstrukcija objekta
$R$	..... rating mostu
$R_c$	..... rating cestišča
$R_d$	..... računaska nosilnost prereza
$R_{jk}$	..... rating elementa mostu in tipa poškodbe
$R_{ok}$	..... rating okolice in rečnega korita
$R_{op}$	..... rating opreme objekta
$R_{po}$	..... rating podporne konstrukcije
$R_{pr}$	..... rating prekladne konstrukcije
$RS_{up}$	..... razred stroškov uporabnikov
$S$	..... srednje težka prometna obremenitev
$S_{cel,san}$	..... predvideni stroški celovite sanacije
$S_{del,san}$	..... predvideni stroški delne sanacije
$S_{san}$	..... predvideni stroški izbrane sanacije
$S_{up}$	..... dnevni strošek uporabnikov

$SE$	..... standardna napaka
$Sr$	..... sredozemsko podnebje
$T$	..... težka prometna obremenitev
$V$	..... objekt opravlja funkcijo nadvoza, podvoza ali viadukta
$V_D$	..... stanje elementa (Gattulli in Chiaramonte, 2005)
$W$	..... utež za dotrajanost
$X_c$	..... globina karbonatizacije
$a$	..... parameter
$b$	..... parameter
$\bar{b}$	..... povprečna letna stopnja večanja poškodovanosti
$b_p$	..... povprečna letna stopnja večanja poškodovanosti za podatkovni niz $p$
$f_i$	..... funkcija obstoječega stanja objekta $i$
$i$	..... oznaka objekta
$j$	..... poškodba ali napaka
$k$	..... element objekta
$k_e$	..... faktor relativne vlažnosti betona
$k_c$	..... parameter strjevanja
$k_{ab}$	..... obratovalni stroški za avtobuse
$k_{ov}$	..... obratovalni stroški za osebna vozila
$k_{ts}$	..... obratovalni stroški za srednji tovorni promet do 7 t
$k_{tpv}$	..... obratovalni stroški za težki tovorni promet s prikolicami in vlačilci nad 12 t
$k_{tt}$	..... obratovalni stroški za težka vozila od 7 do 12 t
$o_i$	..... izbrani premostitveni objekt
$p$	..... podatkovni niz
$r$	..... število podatkovnih nizov z enako kombinacijo vplivov in stopnjo poškodovanosti
$s$	..... število točk v podatkovnem nizu
$t$	..... podatkovna točka
$w$	..... eksponenta vpliva mikroklimatskih razmer
$\bar{x}$	..... srednja vrednost neodvisnih podatkovnih točk
$x_t$	..... neodvisna podatkovna točka
$x_{p,t}$	..... leto izvedbe pregleda
$\bar{y}$	..... srednja vrednost odvisnih podatkovnih točk
$y_t$	..... odvisna podatkovna točka
$y_{p,t}$	..... rating poškodovanosti v letu $t$



$y_{t,lin}$	..... linearna regresijska premica
$\gamma_G$	..... parcialni varnostni koeficienti za stalno obtežbo
$\gamma_Q$	..... parcialni varnostni koeficienti za prometno obtežbo
$\Delta C_s$	..... sprememba koncentracije CO <sub>2</sub>
$\Delta I_o$	..... sprememba indeksa ogroženosti
$\Delta I_p$	..... sprememba indeksa poškodovanosti
$\phi$	..... faktor zmanjšanja računske nosilnosti
$\mu(D)$	..... globina karbonatizacije

# 1 UVOD

## 1.1 OPREDELITEV PROBLEMA

Gospodarski infrastrukturni objekti (prometni, energetske, komunalni in drugi) zagotavljajo svojim uporabnikom visoko kakovost življenja ter omogočajo razvoj celotnega gospodarstva. Svojemu namenu morajo služiti nepretrgoma, v primeru kratkotrajnega izpada oziroma nedelovanja njihovih posameznih elementov pa morajo biti zagotovljene primerne nadomestne usluge. S časom se zaradi obtežbe in drugih vplivov okolja stanje vseh gradbenih objektov slabša. Če želimo nivo obnašanja ohranjati na zeleni ravni, je potrebno v izbranih časovnih intervalih izvajati ustrezen obseg dejavnosti vzdrževanja in obnove, ta pa se mora hkrati prilagajati tudi morebitnim novim potrebam uporabnikov.

Vrednost celotne gospodarske infrastrukture vsake države je izjemno velika, zato so tudi njene finančne potrebe zelo visoke. Empirične študije ocenjujejo naložbene potrebe Republike Slovenije v tem segmentu gospodarstva na okoli 8% BDP, dejansko smo jih v prejšnjem desetletju namenjali okoli 5% (Mrak, 2005), trenutno pa so vrednosti gotovo celo nižje. To kaže na razkorak med potrebami za investiranje v gospodarsko infrastrukturo in dejanskimi viri, kar se med drugim odraža tudi v njihovem pomanjkljivem vzdrževanju. Posledično se stanje večini infrastrukturnih objektov počasi slabša.

Upravljalci posameznih infrastrukturnih objektov na višino letno razpoložljivih finančnih sredstev ne morejo neposredno vplivati, saj odločitve v zvezi s tem sprejema vlada, zato pa lahko v veliki meri vplivajo na smotrnost njihove porabe. Ta v veliko primerih ni na zadovoljivem nivoju, o čemer pričajo tudi nekatera revizijska poročila računskega sodišča RS (npr. Revizijsko poročilo – vzdrževanje avtocest, 2010). Upravljalci sicer poskušajo z razpoložljivimi sredstvi ravnati gospodarno, v večini primerov jim na podlagi strokovnih znanj, izkušenj in uporabe enostavnih sistemov odločanja najverjetneje tudi uspe, vendar imajo tudi v slednjih primerih lahko težavo argumentirati dokazovati strokovno in predvsem ekonomsko upravičenost odločitev. Za stalno in predvsem dokazljivo sprejemanje optimalnih odločitev je potrebno imeti izdelane odločitvene sisteme oziroma sisteme upravljanja, ki temeljijo na inženirskih in ekonomskih temeljih in s katerimi se lahko potrdi pravilnost vsake odločitve. Izdelava univerzalnega sistema za vse infrastrukturne objekte je zaradi njihove raznovrstnosti seveda nemogoča, zato je potrebno za vsak segment infrastrukture razviti svoj sistem upravljanja.

Doktorsko delo bo obravnavalo del celovitega upravljanja s prometno gospodarsko infrastrukturo in sicer bo obravnavan sistem za upravljanje s premostitvenimi objekti (ang. Bridge Management System – v nadaljevanju BMS). V Republiki Sloveniji je bil sistem delno izdelan pred nekaj več kot dvajsetimi leti, od tedaj pa ni bil deležen niti bistvenih posodobitev niti dopolnitev, ki so jih podobni sistemi v tujini uvedli že pred več leti in bi bile potrebne tudi v Sloveniji. Raziskavam na področju upravljanja s premostitvenimi objekti se je v razvitih državah veliko pozornosti pričelo namenjati predvsem v zadnjem desetletju, saj imajo prometna omrežja že več let v celoti zgrajena, posledično pa postaja strošek njihovega vzdrževanja (na ustreznem nivoju) vse večji. Glede na razpoložljivo literaturo in druge vire informacij so v praktično vseh državah predvidena letna finančna sredstva nižja od potreb upravljalcev premostitvenih objektov (Woodward in sod., 2001), zato je potreba po iskanju inovativnih rešitev na tem področju zelo velika.

## **1.2 NAMEN IN CILJ DOKTORSKEGA DELA**

Politika upravljanja s premostitvenimi objekti navadno poskuša odgovoriti na sledeča vprašanja; kakšno je trenutno stanje fonda objektov, kakšna je hitrost njegovega propadanja, kakšno je njegovo optimalno stanje in kakšne so letne finančne potrebe upravljalca za izvajanje rednega in investicijskega vzdrževanja? Odgovori na ta vprašanja so kompleksni, še pred iskanjem odgovorov pa se moramo vprašati tudi, katere omejitve bomo pri iskanju odgovorov upoštevali; ali je ciljev optimizacije več, kakšna je njihova relativna pomembnost ter za katere subjekte stanje optimiziramo; upravljalca, uporabnike ali v določenem razmerju za oboje.

Pred pristopom k izdelavi BMS moramo določiti ali bo ta obravnaval oziroma skušal zadostiti več ciljev hkrati (npr. minimalna poraba finančnih sredstev, maksimalno stanje objektov), oziroma bo cilj en sam (npr. optimizacija porabe finančnih sredstev) ter skladno s cilji identificirati omejitve. Od njih je odvisna uporaba oziroma integriranje posameznih analiz in modelov v predlagan sistem za upravljanje. Glede na razpoložljivo literaturo ugotavljamo (Woodward in sod. 2001, Elbehairy, 2007, Adey in sod., 2010 in podobno), da ne glede na izbrane cilje, pri izdelavi in uporabi BMS v praksi obstajata dva glavna izziva in sicer določitev obstoječega stanja objektov ter modeliranje njihovega nadaljnega propadanja. Izdelava in integracija ostalih modelov in analiz variira in se lahko med posameznimi BMS bistveno razlikuje.

Namen doktorskega dela je izdelava v praksi uporabnega sistema za upravljanje s

premostitvenimi objekti, ki mora biti sposoben obravnavati vse tipe premostitvenih objektov, ki jih imamo v Republiki Sloveniji. Cilj je torej zagotavljanje varnosti skupine objektov tako z vidika uporabnikov kot s konstrukcijskega vidika. Za doseg navedenega cilja je potrebno vse poškodbe evidentirati, pravilno oceniti njihov obseg in jakost, predvideti njihov nadaljnji razvoj ter pravočasno predpisati sanacijo tistih poškodb, pri katerih bi odlašanje s popravili vodilo v nevarnost pri uporabi, pospešeno večanje njihove jakosti ali celo v delno porušitev objekta. Zaradi omejenosti razpoložljivih finančnih sredstev je tako pri predpisovanju ukrepov kot pri nekaterih drugih odločitvah potrebno upoštevati tudi stroškovni vidik. V sklopu razvoja novega BMS bo potrebno:

- Zasnovati ogrodje sistema za upravljanje.
- Določiti kriterije in omejitve, na podlagi katerih bodo sprejete odločitve.
- Nov sistem izdelati na način, ki bo omogočil integriranje podatkov, zajetih z obstoječim sistemom upravljanja.
- Odpraviti pomanjkljivosti obstoječe metodologije določanja stanja objektov.
- Ugotoviti predviden trend večanja poškodb na objektih in izdelati model napovedovanja teh trendov za prihodnost.
- Izdelati model za oceno stroškov in koristi uporabnikov in upravljalca, v odvisnosti od variantnih rešitev.
- Razviti primeren odločitveni sistem, ki bo določil prednostni vrstni red saniranja objektov po posameznih letih glede na stanje objektov, omejena finančna sredstva, stroške in koristi uporabnikov ter morebitne druge omejitve.

### **1.3 METODA DELA**

Doktorsko delo je razdeljeno v faze, ki si sledijo v naslednjem vrstnem redu:

**Pregled znanstvene literature.** Pregledali smo obstoječo domačo in razpoložljivo tujo literaturo. Na osnovi pregleda domače literature smo želeli predstaviti zgodovinski razvoj pregledovanja objektov v RS ter kritično ovrednotiti njegovo trenutno stanje, ki je v veliki meri nespremenjeno že dve desetletji. Cilj pregleda tuje literature je določitev stopnje in smeri razvoja obravnavanih sistemov v tujini, določitev njihovih najpogostejših sestavnih delov in načinov odločanja, omejitve sistemov ter možnosti za njihov nadaljnji razvoj.

**Pregled obstoječih sistemov upravljanja.** Razkorak med znanstvenimi prispevki in stanjem v praksi (stroki) je na večini področij velik. Z namenom določitve stopnje integracije znanstvenega dela v prakso in ugotovitve raznovrstnosti uporabljenih sistemov v tujini, smo izvedli pregled sistemov upravljanja v več državah na osnovi razpoložljive literature.

**Teoretična podlaga in zasnova sistema odločanja.** Pred pristopom k obravnavanju posameznih sestavnih delov sistema, je potrebna izdelava ogrodja odločitvenega sistema. V tej fazi smo s pomočjo sistematične analize ter kritične presoje razpoložljive literature ter študija obstoječega stanja slovenskega omrežja državnih cest določili kriterije, omejitve, vrste analiz in modele, ki bodo v sistem vgrajeni. Končni rezultat poglavja je določitev in prikaz zgradbe sistema odločanja.

**Obravnavanje posameznih uporabljenih analiz in modelov.** Za vse v sistem integrirane kriterije smo definirali način določanja njihovih vrednosti, pri čemer je bil največji poudarek namenjen določitvi hitrosti nadaljnega propadanja objektov. Le-to smo določali na podlagi prognoze, ki temelji na analizi dosedanjih hitrosti propadanja objektov. Sledila je integracija posameznih uporabljenih analiz in modelov v enovit sistem.

**Prikaz delovanja predlaganega sistema odločanja na izbranem primeru.** Primernost uporabe predlaganega modela v praksi smo preverili z analiziranjem petdesetih premostitvenih objektov z območja ljubljanske regije.

## 2 PREGLED LITERATURE

### 2.1 TUJINA

#### 2.1.1 Zgodovinski razvoj BMS in pregled stanja

Glede na dolgo večtisočletno zgodovinsko obdobje, skozi katerega človeštvo gradi mostove, smo se s problematiko njihovega sistematičnega vzdrževanja pričeli ukvarjati zelo pozno. V državah na območju Evrope je težko določiti trenutek, v katerem so le-te pričele sistematično pregledovati in posledično tudi vzdrževati svoje mostove in druge premostitvene objekte. Posamezne države so v preteklosti iz zgodovinskih in političnih razlogov, kakor tudi zaradi specifičnega načina gradnje na posameznih območjih, razvile različne sisteme vzdrževanja infrastrukturnih objektov. Nekateri sistemi vzdrževanja in upravljanja objektov so bili izdelani na visokem strokovnem nivoju, drugi pa so bili že v času svojega nastanka komaj zadovoljivi (Helmerich in sod., 2008).

Ena prvih držav, ki je uvedla sistematično pregledovanje stanja mostov ter ugotovitve tudi dokumentirala in arhivirala, je bila Švedska (Racutanu, 2000). Pregledi mostov se izvajajo od leta 1944, kmalu za tem pa so pričeli tudi s pregledi predorov. Izvedba pregledov, zajemanje podatkov o stanju objektov in njihova analiza poteka z enotno metodologijo, upravljanje z objekti pa izvaja Švedska uprava za ceste. Poleg Švedske je čas pričetka sistematičnega pregledovanja mostov znan tudi v Nemčiji. Povod za začetek pregledovanja je bila porušitev mostu "Reichsbrücke" na Dunaju leta 1976 (slika 2.1), zaradi česar so Nemci postali pozorni na stanje svojih premostitvenih objektov ter v istem letu odkrili več težjih konstrukcijskih poškodb na mostovih v mestu Düsseldorf (Everett in sod., 2008). Za druge evropske države natančnega časa pričetka sistematičnega upravljanja z mostovi iz razpoložljive literature ni moč ugotoviti.

Na drugi strani Atlantika, v Združenih državah Amerike, je tako čas kot povod za pričetek sistematičnega pregledovanja in vzdrževanja mostov natančno znan (Rossow, 2006). Leta 1971 so izdelali prvi nacionalni standard za preglede mostov (ang. National Bridge Inspection Standards, NBIS), razlog za njegovo pripravo in izdajo pa je bila porušitev 681 m dolgega mostu prek reke Ohio v Zahodni Virginiji, v kateri je umrlo 46 ljudi (slika 2.2). Vzrok za porušitev je bila manjša nepravilnost v enem izmed jeklenih nosilnih elementov in slabo vzdrževanje objekta. V začetku je standard obravnaval le štiri temeljna določila; postopek pregledov, časovni interval pregledov, usposobljenost pregledovalcev in vsebino poročil.





Slika 2.1: Porušen most Reichsbrücke na Dunaju 1. avgusta 1976 (Reichsbrucke, 2012)

Figure 2.1: Collapsed Reichsbrücke bridge in Vienna on 1. August 1976 (Reichsbrucke, 2012)



Slika 2.2: Porušen most "Silver Bridge" čez reko Ohio v Zahodni Virginiji 15. decembra 1967 (Rossow, 2006)

Figure 2.2: Collapsed "Silver Bridge" over the Ohio river in West Virginia 15. December 1967 (Rossow, 2006)

Prve dopolnitve standarda so bile izdelane kot posledica dveh novih porušitev mostov, leta 1983 v Connecticutu in leta 1987 v New Yorku. Porušitev leta 1983 je bila posledica utrujanja nekaterih jeklenih elementov mostu, medtem ko je porušitvi v New Yorku botrovala erozija tal pod temelji opornikov. Dopolnila prvotnega standarda so se nanašala prav na ocenjevanje in

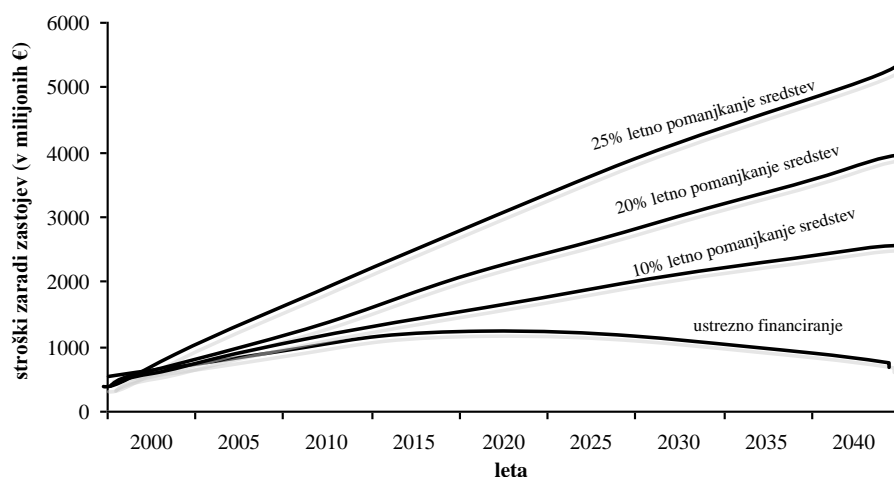
analiziranje navedenih tipov poškodb ter s tem povezano preprečitvijo novih porušitev. Izdelava prvega BMS v pravem pomenu besede pa se je v ZDA začel v začetku 90. let prejšnjega stoletja. Več zveznih držav se je odločilo financirati izdelavo skupnega BMS, ki so ga poimenovali "Pontis". Ta se je kasneje dopolnjeval in s tem tudi izpopolnjeval, zato ga danes uporablja že večina ameriških zveznih držav. Vzporedno z izdelavo Pontisa je v sklopu dveh raziskovalnih programov nastal dodaten sistem za upravljanje z mostovi "Bridgit", ki se je sčasoma izkazal kot uporaben predvsem za upravljanje z manjšimi mostovi. Vse od nastanka leta 1971 se je glede na nova spoznanja dopolnjeval tudi standard NBIS, na katerem morajo temeljiti vsi BMS-ji, ki se uporabljajo v ZDA (Rossow, 2006).

V istem obdobju je tudi v Evropi prišlo do spoznanja, da bi bila potrebna izdelava standarda, ki bi vseboval vsaj splošna navodila ter izhodišča za izdelavo sistemov upravljanja mostov. Standard sicer ni bil izdelan, v sklopu projekta BRIME (ang. BRIdge Management in Europe), ki se je izvajal med leti 1998 in 2001, pa so bila določena izhodišča, ki naj bi jim posamezne države sledile ter bi jim bila v pomoč pri izdelavi nacionalnega BMS. Projekt se je zaključil z izdelavo zaključnega poročila *Bridge Management in Europe – Final Report (Woodward in sod., 2001)*. Poročilo je deljeno na deset tematskih poglavij, med najpomembnejše teme, ki jih obravnava, pa spadajo določitev obstoječega stanja, določitev nosilnosti, modeliranje propadanja, določitev odločitvenih kriterijev in program vzdrževanja. V začetku poročila je predstavljen kratek pregled obstoječega stanja po posameznih državah v Evropi. Izkazalo se je, da v času izdelave poročila nobena izmed držav ni imela izdelanega oziroma ni uporabljala BMS v pravem pomenu besede. Izdelani so bili le pravilniki o pregledovanju objektov, s pregledi zajeti podatki pa so se nato bolj ali manj natančno analizirali. Z izjemo Finske nobena izmed držav ni imela izdelanega niti plana kontrole kakovosti zajetih podatkov ali njihove analize. Navedena dejstva so tako močno govorila v prid izdelave na nivoju Evrope poenotenega BMS, do česar pa vse do danes ni prišlo.

V sklopu projekta BRIME je bilo izvedenih več študij za različna področja BMS. Nekatere so imele konkretne zaključke, druge so ostajale na nivoju teoretičnih izhodišč z navodili za nadaljnji razvoj. Ena pomembnejših študij je bila določanje hitrosti propadanja objektov oziroma njihovih posameznih elementov ter s tem povezana določitev obsega vzdrževalnih del v prihodnosti. Rezultati raziskave dokazujejo, kar sicer ni presenetljivo, da predolgo odlašanje pristopa k sanaciji poškodovanih elementov (odlašanje je v večini primerov posledica pomanjkanja finančnih sredstev) sčasoma povzroči hitrejšo večanje direktnih in predvsem indirektnih stroškov sanacije. Pod indirektno stroške uvrščamo stroške, ki niso vezani na stroške sanacije in nastanejo zaradi prometnih zastojev in daljših voznih poti zaradi eventuelnih obvozov, ki so posledica dolgotrajnih sanacijskih del. Varčevanje s



finančnimi sredstvi na račun današnjega manjšega obsega izvajanja vzdrževalnih del lahko dolgoročno tako dejansko v prihodnosti pomeni večje stroške, kot bi jih imeli v primeru ustreznega izvajanja rednega vzdrževanja (slika 2.3).



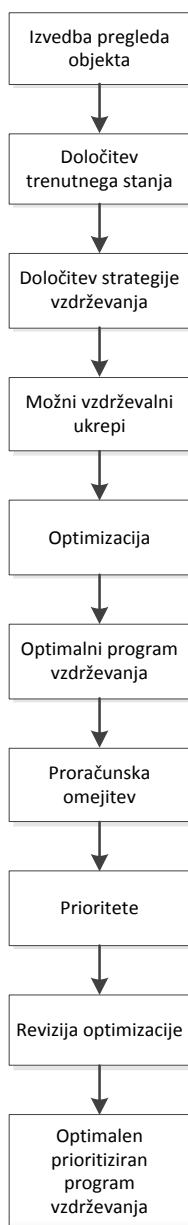
Slika 2.3: Stroški prometnih zastojev kot posledica pomanjkanja sredstev za vzdrževanje premostitvenih objektov (Woodward in sod., 2001)

Figure 2.3: The cost of traffic congestion as a result of a lack of funds for maintenance of bridge structures (Woodward et al., 2001)

Da zadostijo potrebam upravljalcev in drugih deležnikov, morajo sodobni BMS vsebovati različne algoritme. Woodward in sodelavci (2001) delijo tovrstne algoritme glede na njihov namen v dva razreda:

- optimiziranje stroškov vzdrževanja glede na hitrost dejanskega propadanja objektov in
- določanje stopnje oziroma hitrosti nadaljnega propadanja in napovedovanje prihodnjega stanja objektov.

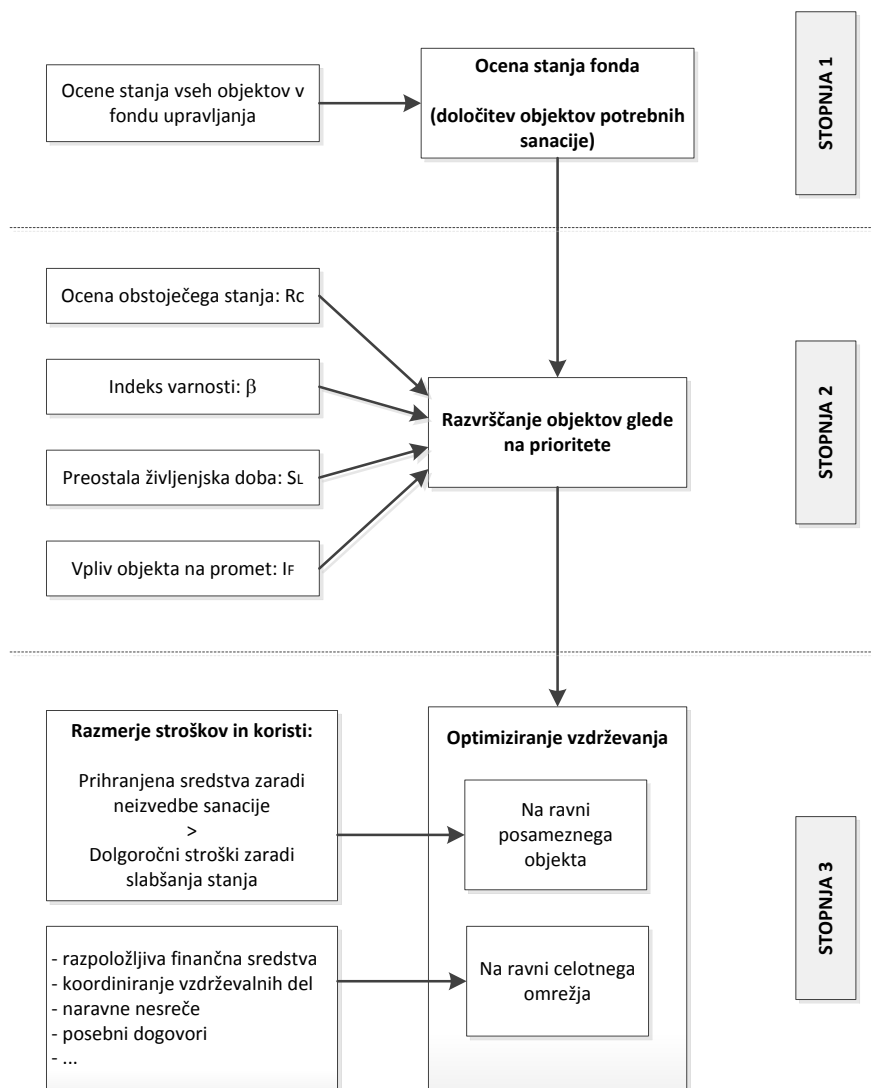
Določanje oziroma napovedovanje prihodnjih dogodkov je ne glede na izbrano metodo zelo zahtevno, za eno primernejših orodij pa veljajo Markovske verige, medtem ko imamo pri optimiziranju stroškov vzdrževanja na voljo več načinov njihovega določanja. Ne glede na izbrane metode je vsako izbrano potrebno integrirati v proces odločanja, ki je sestavljen iz posameznih korakov, kot je predstavljeno na sliki 2.4. Prikazanega procesa odločanja avtorji podrobneje sicer ne komentirajo.



Slika 2.4: Glavni koraki pri procesu odločanja v sklopu BMS (Woodward in sod., 2001)

Figure 2.4: Main steps in the decision-making process within the BMS (Woodward et al., 2001)

Avtorji posebej poudarjajo pomembnost izdelave primerne postopka določanja prioritet (prednostnih sanacijskih posegov), saj ima ta postopek velik vpliv na celoten program vzdrževanja objektov v posamezni državi ali drugem zaključnem območju, hkrati pa lahko z njim preprečimo morebitne subjektivne odločitve povezane z določitvijo objektov, ki so sanacije najbolj potrebni. Na sliki 2.5 prikazujemo shematično postopek določanja prioritet obnov, kot ga predlagajo avtorji (Woodward in sod., 2001).



Slika 2.5: Shema razvrščanja mostov po prioriteti (Woodward in sod., 2001)

Figure 2.5: Scheme of classification of bridges by priority (Woodward et al., 2001)

Na prvi stopnji se določijo objekti, katerih stanje je pod neko predhodno določeno ravniyo. V primeru zadostnih finančnih sredstev se razvrščanje lahko konča že na tej stopnji, saj bodo vsi objekti, ki te točke ne dosežejo, sanirani. Praksa pa v veliki večini primerov kaže, da so sredstva za obnovo omejena, zato vseh objektov, katerih stanje je nezadostno, ne moremo sanirati. Sledi druga stopnja, v kateri objekte razvrstimo glede sledeče parametre: obstoječe stanje, indeks varnosti, preostala življenjska doba, vpliv objekta na promet. Ko mostove s pomočjo primerne metode razvrstimo, sledi še tretja stopnja, v sklopu katere se optimizira vzdrževalni proces na ravni posameznega projekta ter na ravni celotnega omrežja. Optimizacije na delu omrežja (npr. na območju ene vzdrževalne baze) prispevek ne obravnava, čeprav bi bilo v primerih večjih omrežij lahko tudi to smiselno.

Poleg navedenih je bilo v sklopu projekta BRIME izvedenih še več drugih študij, postopkov,

navodil, itd. Vse so bile vezane na temo vzdrževanja mostov, pri čemer je bil poudarek tako na makro ravni, v sklopu katere obravnavamo celoten fond objektov, kot tudi na mikro ravni, kjer se lahko obravnava le posamezen element mostu.

Leta 2007 si je delegacija Ameriške zvezne uprave za avtoceste (FHWA) ogledala izvajanja upravljanj s premostitvenimi objekti v več evropskih državah in sicer v Nemčiji, Franciji, na Danskem ter Finskem, sestali pa so se še s predstavniki Švedske in Norveške. Namen obiska je bil seznanitev z načinom dela v omenjenih državah in morebitna uporaba v Evropi obstoječih metod v lastnem BMS. Opažanja in ugotovitve delegacije so podani v prispevku "Bridge Evaluation Quality Assurance in Europe" (Everett in sod., 2008). Glavne teme ogleda ter s tem tudi prispevka so bile organizacijska struktura upravljanja, obseg in način izvajanja pregledov na terenu, usposobljenost oziroma izobrazba pregledovalcev, uporabljena oprema, izdelava dokumentacije in način kontrole celotnega procesa. Ugotovljeno je bilo, da imajo vse obiskane države standardiziran postopek pregleda, izdelave poročil, izrazoslovja in določitve stanja za posamezne objekte. V vseh državah je za pregledovalce zahtevana najmanj višješolska izobrazba, zanje so izdelani priročniki, z izjemo Norveške pa so obvezni tudi večdnevni tečajji, ki se v nekaterih državah zaključijo s teoretičnim in praktičnim izpitom. Z navedenimi ukrepi je kakovosten zajem podatkov na terenu praktično zagotovljen, kar pomeni da lahko na njihovi osnovi izvajamo verodostojne analize.

Načini nadaljnje uporabe zajetih podatkov so po posameznih državah precej razlikujejo. Na Finskem na primer že pregledovalec določi objekte potrebne sanacije in predlaga izvedbo določenih ukrepov, zato v njihovem primeru o optimizaciji finančnih sredstev v sklopu upravljanja z mostovi ne moremo govoriti. Tudi Danci v sklopu BMS nimajo izdelanega sistema analiziranja zajetih podatkov na način, ki bi jim pomagal pri razvrščanju mostov po prioritetah in s tem med drugim omogočil tudi optimizacijo vzdrževalnih del. Tovrstne analize naj bi izdelovali v drugih oddelkih državne ali druge administracije. V Nemčiji se ocena stanja posameznega premostitvenega objekta in s tem povezana potreba po njegovi sanaciji določi avtomatično. Kriteriji za njegovo določitev so statična stabilnost, prometna varnost in trajnost objekta, pri čemer so njihove vrednosti odvisne od poškodovanosti tistih elementov objekta, ki posamezen kriterij tangirajo (npr. poškodovana ograja – prometna varnost). Iz navedenih primerov je razvidno, da imajo države pri obravnavanju stanja fonda svojih premostitvenih objektov kot tudi določanju potrebnih sanacijskih ukrepov v posameznem letu za celoten fond, različne pristope. Projekt BRIME je očitno vsaj v večji meri če že ne kar v celoti ostal na nivoju teoretičnih izhodišč, v prakso pa bodo njegove ugotovitve in zaključke najverjetneje vpeljale le redke države.

V letu 2010 je mednarodno združenje IABMAS izdelalo pregled osemnajstih različnih BMS, ki se uporabljajo v petnajstih različnih državah (Adey in sod., 2010). Sodelujoče države so bile Kanada, ZDA, Japonska, Koreja in Švica, ostalih deset držav pa je bilo članic Evropske unije. Osnovni namen pregleda je bil primerjanje posameznih sistemov in preprečitev podvajanja razvoja in raziskav v sklopu BMS posameznih držav, v kolikor je bila določena raziskava že izvedena v drugi državi. Ker prispevek podaja osnovo za nadaljnje raziskave, so na koncu predlagane tudi smernice za nadaljnje delo. Izpostaviti je potrebno ugotovitev, da tudi v primeru, ko posamezna država oziroma njena pooblaščenca institucija za pregledovanje objektov uporabi obstoječ BMS druge države, le tega za lastne potrebe navadno bistveno spremeni in s tem ustvari nov BMS. Možnost izdelave mednarodnega standarda za potrebe upravljanja z mostovi (ali širše z infrastrukturo na splošno) je zato po mnenju avtorjev potrebno natančneje raziskati.

V naslednjih poglavjih so predstavljeni prispevki na področju BMS, ki ne obravnavajo celotnega sistema BMS, temveč njegove posamezne segmente. Prispevki so obravnavani po tematskih sklopih, kot so na primer izvedba pregledov objektov, določitev stanja, analiza življenjskih stroškov (v nadaljevanju LCC), optimizacija odločitev in podobno.

### **2.1.2 Pregledi objektov**

Kot je razvidno iz slike 2.4, je prvi korak v odločitveni verigi pregled objektov, ki jih v posameznem sistemu obravnavamo, temu pa sledi določitev njihovega stanja. Slabo definiran način izvedbe ali sama izvedba pregleda ima za neposredno posledico pomanjkljive ali celo napačne informacije, ki jih nato uporabljamo pri določitvi stanja objekta ter nato v celotni odločitveni verigi. Pregledi objektov se glede na natančnost in obseg dejavnosti v večini evropskih držav in tudi pri nas delijo na površinske, redne, glavne, globinske in detajlne. Površinske ogledje opravljajo pregledovalci cest v sklopu rednih obhodov celotne infrastrukture, medtem ko so ostale vrste pregledov v domeni gradbenih inženirjev. Redni in glavni pregledi se opravljajo kot del BMS, medtem ko se globinski in detajlni pregledi opravljajo po potrebi, največkrat pred pristopom k sanaciji objekta ali po v sklopu rednih in glavnih pregledov ugotovljenih konstrukcijskih poškodbah.

V ZDA zvezni predpisi definirajo osem tipov pregledov. Trije tipi pregledov so periodični in se izvajajo v predpisanih intervalih. Mednje sodijo rutinski pregledi, pregledi kritičnih objektov in podvodni pregledi. Prvo naštetu se v večini zveznih držav opravljata z dvoletnim intervalom, medtem ko se podvodni pregledi najpogosteje opravljajo vsakih pet let. Podatki, dobljeni z navedenimi tipi pregledov, se uporabljajo v sklopu vseh BMS. Nadalje zvezni predpisi

definirajo še "hands-on inspection" (pregled delov objekta, ki so na dosegu roke), "close-up access" (detajlnejši pregled zgolj nekaterih ključnih elementov objekta) in "collection of quantitative data" (natančne količinske izmere bodisi nekaterih poškodb ali dimenzij posameznih elementov) terenske preglede. Za vnaprej določene, navadno starejše in bolj poškodovane premostitvene objekte, pa se uporabljajo še "interim" (vmesni) in "in-depth" (globinska sondiranja) pregledi (Hearn, 2007).

Ena izmed publikacij, ki obravnava izključno problem pregleda objektov (Sheils in sod., 2009), med drugim kot noviteto predlaga dvostopenjski sistem pregleda. Na prvi stopnji se ugotavlja le, kateri element je poškodovan in mesto poškodbe, na drugi stopnji pa se ugotovi kvantiteta oziroma razširjenost in resnost poškodbe. Na ta način naj bi se vsak izmed pregledovalcev bolj osredotočil na svoj del naloge, to je bodisi evidentiranje poškodovanih elementov in natančna določitev njihovih mest bodisi ocenjevanje razširjenosti in resnosti že evidentiranih poškodb. Ne glede na uporabljen sistem oziroma tehniko pregledovanja obstaja v sklopu izvedbe pregledov vedno možnost pojava napak, ki so posledica manj kakovostnega izvajanja pregledov. Pojav različnih vrst napak s strani pregledovalcev se ocenjujejo z verjetnostjo. Tako poznamo termine verjetnost zaznave (vseh) poškodb, verjetnost lažne zaznave poškodb, verjetnost napačne določitve obsega poškodb, verjetnost lažnega alarma in podobno. Možnosti za nastanek napak pri izvajanju pregledov objektov je torej precej, naloga pregledovalcev pa je, da se jim kar v največji možni meri izognejo, saj samo optimalno predpisan način izvajanja pregledov le teh ne more odpraviti. Prispevek obravnava tudi določitev najprimernejšega intervala izvajanja pregledov. Ta je določen pri 4 letih, vendar so ob preverjanju smiselnosti vsakoletnih pregledov na eni in 10 letnih intervalov pregledov na drugi strani avtorji prišli do zaključka, da je statistično gledano razlika v stroških izvedbe pregledov in eventualnih sanacijskih del med obema vrstama intervalov dokaj majhna. V primeru izvajanja pregledov z 10 letnimi intervali so stroški sanacije sicer večji za 15%, stroški izvajanja pregledov pa so bistveno nižji. Problem daljših časovnih intervalov (npr. 10 letnih) je, da v primeru odločitve zanje povečamo verjetnost porušitve objekta, saj nam morebitno slabšanje stanja objekta dolgo ni znano. Namen rednih pregledov pa je ravno preprečitev morebitnih porušitev oziroma nastanek težjih poškodb, ki bi zahtevale dolgotrajnejše zapore objektov.

Vsakršen tip in način pregleda je gotovo boljši od nikakršnega pregleda, saj tudi v sklopu neustreznega pregleda zelo verjetno evidentiramo največje poškodbe in s tem preprečimo morebitno porušitev objekta, medtem ko manj usodne poškodbe spregledamo. Kakovost pregleda je po njegovi izvedbi zamudno ocenjevati, saj je potreben kontrolni pregled v enakem obsegu, kot je bil izveden primarni pregled, kar pa v večini primerov ni

smiselno. Posledično imamo pri uporabi zajetih podatkov v BMS opraviti z določeno stopnjo negotovostjo. Negotovost je največkrat povezana s subjektivnim ocenjevanjem stanja mostov, ki je lahko posledica subjektivne metodologije ali subjektivnosti ocenjevalca (Sousa in sod., 2009). Slednja je lahko posledica neizkušenosti, slabega usposabljanja, strahu pred višino in/ali prometom ter osebnostnih karakteristik, kot je optimizem ali pesimizem in s tem povezana ocena nevarnosti posameznih poškodb za stabilnost objekta ali njegovega posameznega elementa. Raziskovalci, ki so preučevali izvajanje rednih vizualnih pregledov (Graybeal, 2002, Phares, 2004) ugotavljajo, da je trajanje pregleda za posamezne objekte variira od le nekaj minut do več ur. V največji meri je dolžina trajanja pregleda posledica velikosti premostitvenega objekta in njegove stopnje poškodovanosti, v določeni meri pa tudi posledica natančnosti izvedbe pregleda. Pri pregledovanju natančnosti izvedbe pregledov je bilo ugotovljeno, da so bile v nekaterih primerih spregledane celo relativno velike konstrukcijske poškodbe.

Iz navedenega jasno izhaja, da je pri analiziranju zajetih podatkov v BMS prisotna določena stopnja negotovosti, ki je posledica subjektivnosti in/ali površnosti pregledovalcev. Zmanjšanje subjektivnosti zajetih podatkov v fazi izvedbe pregledov je nujno, dosežemo pa ga lahko z izdelavo kontrolnega seznama, protokola pregleda, uvedbo standarda za preglede ali dopolnjevanjem vizualnih pregledov z in-situ nedestruktivnimi preiskavami (Sousa in sod., 2009).

### 2.1.3 Določitev stanja objektov

Pregledu objektov sledi določitev stanja, nato pa razvrščanje objektov po pomembnosti, ki narekuje vrstni red, po katerem se nato pristopi k obnovi objektov. Razvrščanje lahko temelji izključno na stanju njihove poškodovanosti (enokriterijsko), v zadnjih letih pa vse večkrat temelji na več kriterijih. Poškodovanost premostitvenih objektov se v večini enokriterijskih sistemov meri s tako imenovanim indeksom zdravja (ang. Health Index, HI), načinov za njegov izračun je več, vsi pa izhajajo iz podobnih predpostavk. Splošni zapis indeksa zdravja je (Wakchaure in Jha, 2012):

$$HI = \sum_{i=1}^n K_i \cdot C_i \quad (2.1)$$

kjer je  $K_i$  utež elementa  $i$ ,  $C_i$  stanje elementa  $i$ ,  $n$  pa število elementov objekta. Indeks zdravja nam seveda ne da odgovora na vprašanje, ali so najbolj poškodovani objekti tudi prioritetni za sanacijo. Indeks prioritete (ang. Maintenance Priority Index, MPI) je določen z izrazom (Hearn, 1999):



$$MPI = \sum_{i=1}^n K_i \cdot F_i(a, b, c, \dots) \quad (2.2)$$

kjer je  $K_i$  utež  $i$ -te pomanjkljivosti ali poškodbe,  $F_i$  pomanjkljivost ali poškodba  $i$ ,  $a, b, c, \dots$  pa so njihovi atributi. Iz navedenih splošnih enačb izhajajo vse v praksi uporabljene enačbe. Roberts in Shepard (2000) predlagata za izračun indeksa zdravja posplošen izraz:

$$HI = (\sum CEV / \sum TEV) \cdot 100 \quad (2.3)$$

kjer je  $CEV$  sedanja vrednost elementa in  $TEV$  denarna vrednost potrebna za izgradnjo elementa. Navedeni vrednosti določimo z izrazoma:

$$TEV = (Q_e \cdot C_e) \quad (2.4)$$

$$CEV = \sum_{i=1}^s (D_i \cdot W_i \cdot C_e) \quad (2.5)$$

kjer je  $Q_e$  količina elementa,  $C_e$  strošek izdelave elementa na enoto,  $D_i$  delež elementa, ki ima stopnjo dotrajanosti  $i$  in  $W_i$  utež za dotrajanost stopnje  $i$ .

Stopenj dotrajanosti je navadno od tri do pet, pri čemer je očitno, da z večjim številom stopenj dotrajanosti dobimo natančnejše rezultate, saj so s tem bolj natančno določene tudi vrednosti uteži. Predstavljen način določanja stanja objektov pa je lahko v nekaterih primerih tudi zavajajoč. V primeru skoraj novega mostu z malim številom poškodb in eno samo težjo poškodbo, ki bi lahko vodila tudi v delno porušitev mostu, nam obravnavani izračun kritičnosti situacije ne pokaže, saj je skupna vrednost indeksa zdravja HI zadovoljiva in ne kaže potrebe po sicer nujni sanaciji.

Podoben način izračuna se uporablja tudi v ameriški zvezni državi New York. Vsak objekt je razdeljen na posamezne elemente. Vsak izmed njih ima določeno utež, glede na pomembnost funkcije, ki jo ima. Ob vsakokratnem pregledu objekta se določi stanje vsakemu elementu, iz česar se izračuna "rating" oziroma ocena stanja. Glede na to, da je izraz "rating" mednarodno uveljavljen, bomo v nadaljevanju disertacije bomo uporabljali ta izraz. V primeru obravnave celotnega objekta pa uporabimo izraz "rating celotnega objekta" ali njegovo kratico BCR (ang. Bridge Condition Rating) (Wolfgram, 2005):

$$BCR = \frac{\sum_k^n rating\_elementa_k \cdot utež_k}{\sum_k^n utež_k} \quad (2.6)$$

kjer je  $n$  število elementov, vrednost uteži se razlikuje v odvisnosti od pomembnosti elementa (oporniki, nosilci, ležišča...) za objekt.

Rating oziroma stanje objektov se v posameznih državah določa na različne načine. Izraz (2.6) opisuje njihovo obstoječe stanje izključno z združevanjem ocene stanja posameznega



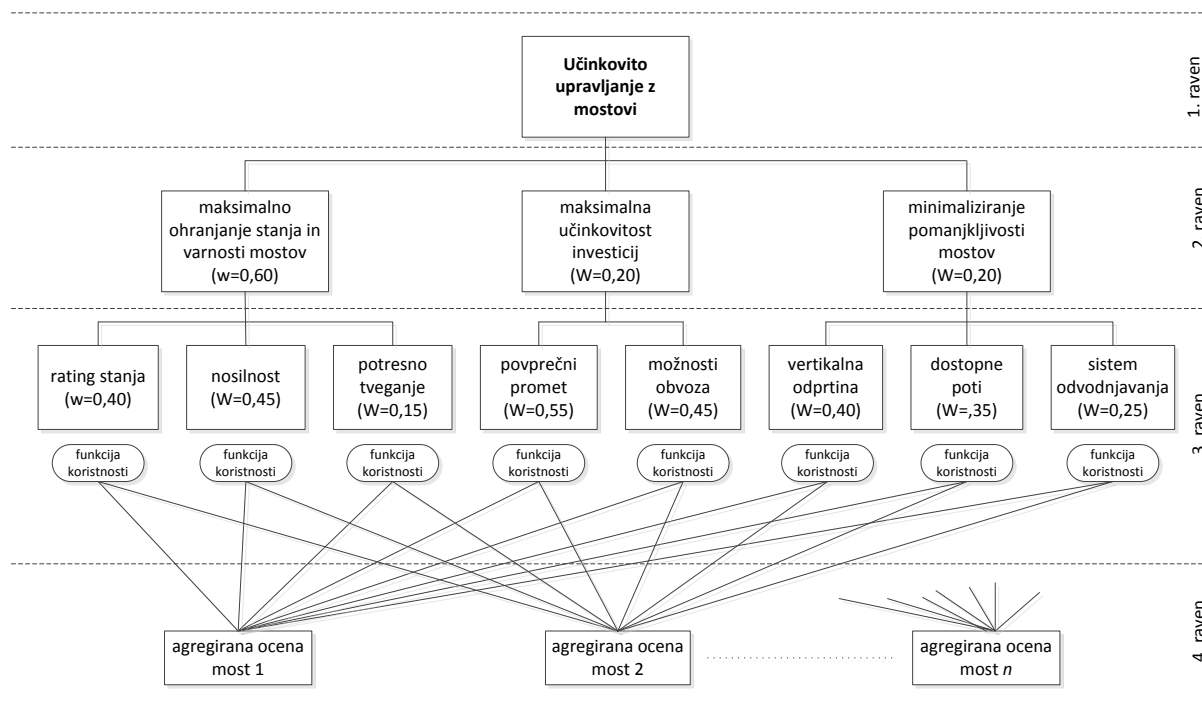
elementa in z utežjo, ki navadno določa pomembnost elementa za celotno konstrukcijo. V uporabi so tudi izrazi, ki natančneje opišejo stanje posameznega elementa oziroma njegove poškodbe. Stanje posameznega elementa ( $V_D$ ) lahko določimo tudi z izrazom (Gattulli in Chiaramonte, 2005):

$$V_D = \sum_{i=1}^{n_d} F_i \cdot K_{mi} \cdot K_{di} \cdot K_{ei} \cdot K_{ui} \quad (2.7)$$

kjer je  $F_i$  faktor pomembnosti (nevarnosti) poškodbe,  $K_{mi}$  faktor pomembnosti elementa,  $K_{di}$  faktor jakosti poškodbe,  $K_{ei}$  faktor razširjenosti poškodbe in  $K_{ui}$  nujnosti intervencije. Praktično identičen način določanja stanja poškodovanosti elementov se uporablja tudi v RS. Le tega natančneje predstavljamo v poglavju 3.2.1.

Kot je razvidno iz zgornjih enačb, se načini določanja stanj objektov v okviru posameznih metodologij močno razlikujejo. Pri njihovem določanju obravnavamo le poškodbe in seštevamo njihove ocene, ocenjujemo in seštevamo ocene stanj elementov objekta, ne glede na število poškodb na posameznem elementu ali integriramo vrednosti tako elementov kot poškodb v skupno oceno stanja. Po približno dveh desetletjih enokriterijskega ocenjevanja stanja premostitvenih objektov se v zadnjih letih vse bolj uveljavlja večkriterijsko ocenjevanje. Tako na primer v Nemčiji od leta 2006 določitev indeksa stanja posameznega objekta temelji na oceni njegove stabilnosti, prometne varnosti in trajnosti, pri čemer se skupni indeks stanja določi na podlagi vseh treh ocen (Everett in sod., 2008). Pri tem je potrebno poudariti, da ima v primeru najnižje ocene enega izmed kriterijev tudi skupni indeks stanja najnižjo oceno in sicer ne glede na oceni drugih dveh kriterijev. S tem se izognemo nastanku primera, ki je bil kot problematičen opisan pri enokriterijskem modelu.

Ocenjevanje stanja mostov je mogoče izvesti tudi s pomočjo večparameterskega modeliranja po metodi MAUT (ang. Multi-Attribute Utility Theory) (Dabous in Alkass, 2010). V tem primeru se proces odločanja razčleni v hierarhično strukturo, ki ima v prikazanem primeru štiri ravni (slika 2.6). Prvo raven predstavlja glavni cilj celotnega procesa odločanja, to je učinkovito upravljanje s premostitvenimi objekti. Drugo raven predstavljajo posamezni podcilji, ki jih poskušamo v čim večji meri izpolniti. Ker vsi trije niso enako pomembni, ima vsak izmed njih svojo utež, njihovo vrednost pa določimo s pomočjo predhodno določenih kriterijev, ki imajo glede na pomembnost prav tako različne uteži (tretja stopnja). Naveden način rangiranja je teoretično gledano brez pomanjkljivosti, vendar zahteva v praksi veliko število vhodnih podatkov, ki se lahko z leti spreminjajo. Tako se na primer podatki, s katerimi opisujemo povprečni letni promet, možnosti obvoza in podobno z leti lahko spreminjajo, kar pomeni potrebo po stalnem zajemu večjega obsega podatkov, ne le oceno stanja oziroma poškodovanosti objektov.



Slika 2.6: Struktura večkriterijske metode rangiranja (Dabous in Alkass, 2010)

Figure 2.6: Hierarchy structure for the ranking method (Dabous and Alkass, 2010)

Predstavljen način razvrščanja (Dabous in Alkass, 2010) je glede na razpoložljivo literaturo najnovejši, vendar se v praksi še vedno uporabljajo starejši načini. Metode določanja stanja objektov oziroma njihovega rangiranja so eden ključnih korakov pri njihovem upravljanju in so del vseh BMS. Nadaljnje in podrobnejše analiziranje zajetih podatkov je sicer dobrodošlo, vendar v primeru obravnavanja manjšega fonda mostov ni več nujno potrebno za učinkovito upravljanje z mostovi. Večje in s tem težje obvladljivo kot je cestno omrežje, bolj smiselno ga je obravnavati z dodatnimi analizami.

#### 2.1.4 Analiziranje zajetih podatkov in optimizacija odločitev

Z vključevanjem različnih vrst analiz v sistem za upravljanje s premostitvenimi objekti lahko bolj natančno določamo strategijo vzdrževanja, vrsto, čas in način izvedbe sanacijskih del, porabo finančnih in drugih sredstev ali z drugimi besedami, optimiziramo celoten proces upravljanja.

Švedska uprava za ceste že več let uporablja sistem za upravljanje s premostitvenimi objekti in predori, ki zajema operativni, taktični in strateški management z objekti. Pri tem imajo

natančno definirane postopke izvedbe pregledov objektov, določitve ocene stanja in postopke izdelave strateškega planiranja vzdrževalnih in sanacijskih del na mostovih. V bližnji prihodnosti imajo namen sistem nadgraditi z današnjega "reakcijskega" pristopa pri izvajanju vzdrževalnih in investicijskih del, ki pomeni odziv na že nastale večje poškodbe, na tako imenovan "predikcijski" pristop. V slednjem primeru naj bi pristopili k sanaciji tik pred nastankom težjih poškodb (Hallberg in Racutanu, 2006). V prvi fazi so v sistem vgradili LCC analizo (analizo stroškov življenjske dobe, ki je podrobneje obravnavana v nadaljevanju), ni pa še denimo vpeljana analiza obnašanja objekta skozi življenjsko dobo. Namen integriranja LCC analize v sistem upravljanja je bila optimizacija porabe finančnih sredstev skozi celotno življenjsko dobo objektov. Doseči jo je mogoče le z dolgoročnim planiranjem izvajanja rednih in investicijskih vzdrževalnih del ter s tem prehiteti pojav prekomernega propadanja materialov (Safi in sod., 2011, Safi, 2012). Predikcijski pristop na ta način sicer še ni v celoti vpeljan, gotovo pa predstavlja korak h končnemu cilju.

Za napovedovanje propadanja posameznih vrst materialov obstaja več modelov. Modeli temeljijo na različnih teorijah, empiričnih študijah in terenskih raziskavah, hkrati pa se razlikujejo tudi po kompleksnosti izračunov in natančnosti rezultatov. Kateri izmed modelov propadanja je primernejši za vgrajevanje v posamezni BMS, je odvisno od več dejavnikov, kot so na primer razpoložljivi podatki, potreba po natančnosti rezultatov in podobno. Ker je karbonatizacija betona eden od ključnih procesov, ki vpliva na začetek korozije, ji Hallberg in Racutanu (2006) posvečata več pozornosti in kot primer podajata dve možnosti izračuna globine karbonatizacije betona:

$$\mu(D) = K_c \cdot \sqrt{t}, \quad (2.8)^1$$

kjer je  $\mu(D)$  globina karbonatizacije,  $K_c$  faktor hitrosti karbonatizacije ( $\text{mm/leto}^{0.5}$ ) in  $t$  čas v letih.

$$X_c(t) = \sqrt{\frac{2 \cdot k_e \cdot k_c \cdot D_{eff} \cdot \Delta C_s}{a}} \cdot \sqrt{t} \cdot \left(\frac{t_0}{t}\right)^w, \quad (2.9)^2$$

kjer je  $X_c(t)$  globina karbonatizacije,  $k_e$  faktor relativne vlažnosti betona,  $k_c$  parameter strjevanja,  $D_{eff}$  difuzijski koeficient suhega karbonatiziranega betona,  $\Delta C_s$  sprememba koncentracije  $\text{CO}_2$  po globini,  $a$  zmogljivost vezanja  $\text{CO}_2$  betona,  $t$  starost objekta,  $t_0$  obravnavani čas in  $w$  eksponenta vpliva mikroklimatskih razmer.

Ne glede na izbrani model, mora ta biti vgrajen v primerno metodo, ki je sposobna napovedovati obnašanje objektov in njihovih posameznih elementov v prihodnosti. V ta namen avtorja predlagata metodo MEDIC (fr. Méthode d'Evaluation de scénarios de Degradation probables d'Investissements Correspondants) in Markovske verige, saj sodita, da sta obe primerni za integracijo v BMS. Primernost uporabe Markovskih procesov za določanje prihodnjih stanj mostov so preverjali tudi Hrvati na primeru Šibeniškega mostu (Puž in sod., 2010), kjer avtorji napovedujejo nadaljnje propadanje objekta izključno zaradi prodora kloridov v armiranobetonsko konstrukcijo, medtem ko ostalih oblik propadanja ne obravnavajo. Največji izziv na področju Markovskih verig predstavlja določitev matrice verjetnosti prehodov posameznih materialov oziroma elementov iz ene stopnje poškodovanosti v naslednjo. Za korektno določitev teh verjetnosti moramo imeti iz naslova rednih in glavnih pregledov objektov konsistentne in objektivne podatke o propadanju posameznih materialov oziroma elementov. Pred integriranjem Markovih verig v BMS je zato potrebno imeti na razpolago in analizirati ogromne količine že zajetih podatkov, na podlagi katerih se določijo matrice verjetnosti. Iz tega razloga je uporaba Markovskih verig pri analiziranju velikih omrežij objektov izredno težavna.

Prav zaradi potreb po širokem spektru podatkov se večina avtorjev pri obravnavi Markovskih verig omeji na obravnavanje posameznih elementov objekta, s čimer se potreba po podatkih močno zmanjša. Morcoux in Lunis (2006) sta na primer obravnavala uporabo Markovskih verig na primerih betonskih prekladnih konstrukcij, primernost metode pa sta preverila na omrežju desetih betonskih objektov. Avtorji ugotavljajo, da bi z dosledno uporabo verig storili

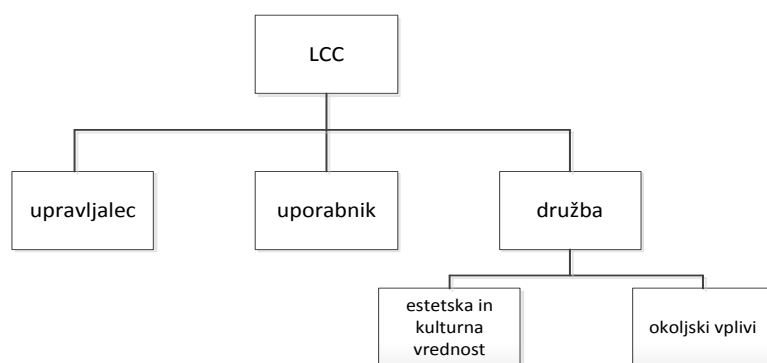
---

<sup>1</sup> Sarja in Veriskari, 2000

<sup>2</sup> Gehlen, 2000

velik korak proti optimizaciji upravljanja premostitvenih objektov, kar pa je na ravni implementacije v splošno prakso upravljanja zelo zahtevno. Kljub navedeni težavi v večini ameriških zveznih držav sistemi za upravljanje s premostitvenimi objekti, za napovedovanje prihodnjih stanj posameznih objektov, uporabljajo Markovske verige. Gre predvsem za programske orodje PONTIS in BRIDGIT, ki imata te verige vgrajene v svoja odločitvena algoritma. Zaradi njunega monopola na trgu bo uporaba verig najverjetneje ostala v uporabi, čeprav nekateri raziskovalci (Agraval in sodelavci 2010) dokazujejo, da daje uporaba Weibullove porazdelitve v primerjavi z Markovskimi verigami natančnejše ocene nadaljnjega propadanja premostitvenih objektov.

Dodaten pomemben element BMS, ki je bil predmet večih raziskav, je vključitev analize življenjskih stroškov (LCC). Ker lahko v analizi življenjskih stroškov upoštevamo različne vrste stroškov, ta izbira pa je praviloma v domeni izdelovalcev posameznih BMS, lahko upoštevanje nekaterih vrst predvsem posrednih stroškov vpliva na objektivnost končnih rezultatov. Celoten spekter stroškov, ki jih je moč vgraditi v LCC analizo premostitvenih objektov, je v svojem magistrskem delu predstavil EI-Fatah Safi (2009). Presoja o pravilnosti nekaterih predpostavk (kot je na primer ocena vrednosti človeškega življenja, trajnih invalidnosti kot tudi vrednost ure zastoja za posameznega uporabnika) in samih izračunov posameznih vrst stroškov je lahko stvar nadaljnje razprave, nedvomno pa je delo doprinos k celoviti metodologiji členjenja stroškov, ki se pojavijo v celotni življenjski dobi premostitvenega objekta.

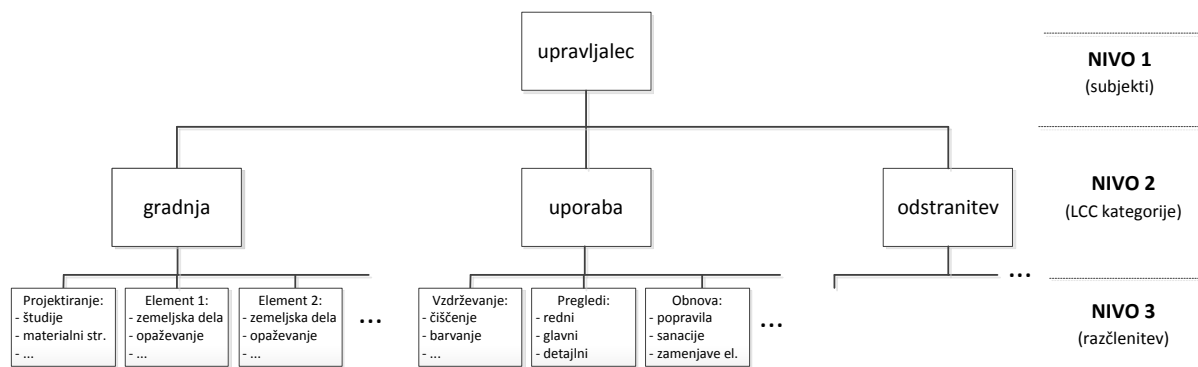


Slika 2.7: Razčlenitev stroškov na posamezne subjekte v sklopu LCC (EI-Fatah Safi, 2009)

Figure 2.7: Cost breakdown for individual entities within the LCC (EI-Fatah Safi, 2009)

Na prvem nivoju deli avtor stroške na stroške upravljalca, uporabnikov in družbe kot celote (slika 2.7). Na drugem nivoju so stroški posameznih subjektov razčlenjeni na kategorije, medtem ko so na tretjem nivoju kategorije razčlenjene na posamezne sestavne dele (slika 2.8). Na tretjem nivoju je razčlenitev stroškov lahko poljubno podrobna, saj lahko na primer gradnjo razčlenimo na posamezne elemente, te pa naprej na stroške izvedbe posameznih

del, kot so izkopi, opaževanje, armiranje in podobno. Stopnja podrobnosti razčlenjevanja stroškov je omejena le z njeno smiselnostjo.



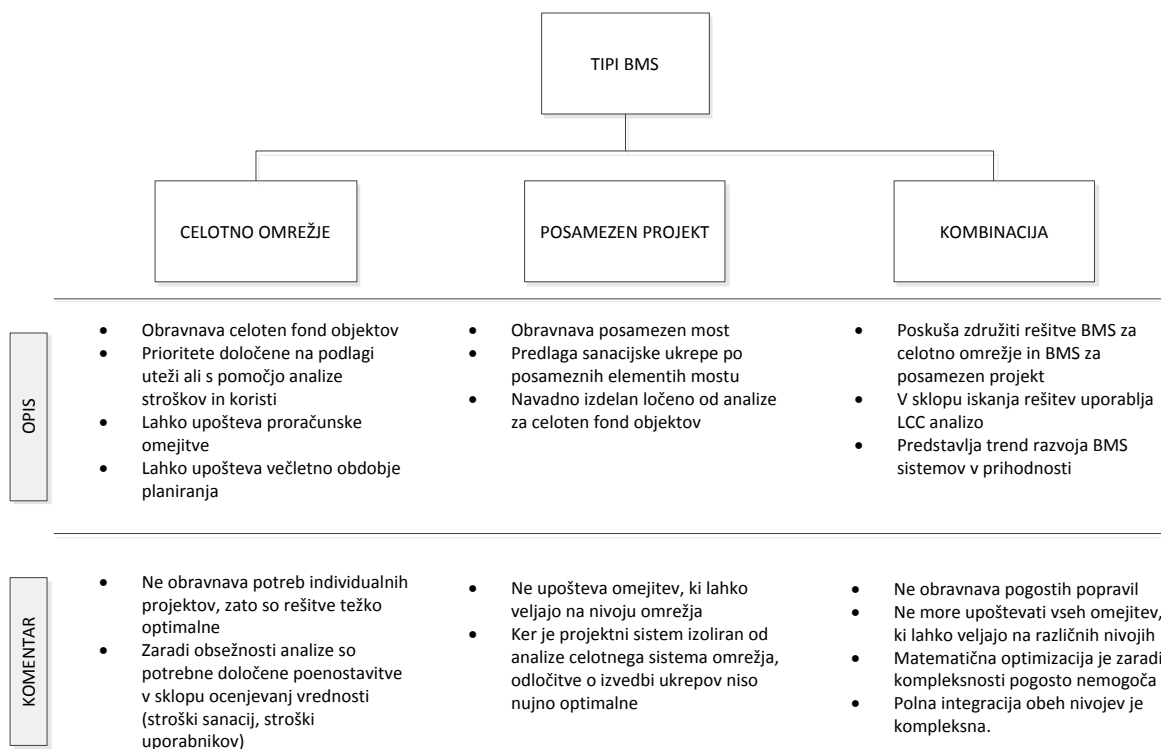
Slika 2.8: Razčlenitve stroškov upravljalca v sklopu LCC (El-Tatah Safi, 2009)

Figure 2.8: Construction and operating costs breakdown within the LCC (El-Tatah Safi, 2009)

Glede na dostopno literaturo so največ prispevkov, ki obravnavajo vključevanje LCC analize v BMS objavili Tarek Hegazy, Hatem Elbehairy in drugi soavtorji. Cilj integracije je optimizacija vseh stroškov, povezanih z vzdrževanjem in obnovo mostov. V začetku so razvili testni sistem, ki je obravnaval le prekladne konstrukcije mostov, temeljil pa je na treh točkah (Hegazy in sod., 2004);

- za določanje optimalnih rešitev se uporabi genetični algoritem,
- vgradi se možnost upoštevanja različnih letnih proračunov, diskontnih stopenj ...
- sistem naj optimizira rešitev tako na nivoju celotnega fonda mostov kot na nivoju posameznega mostu.

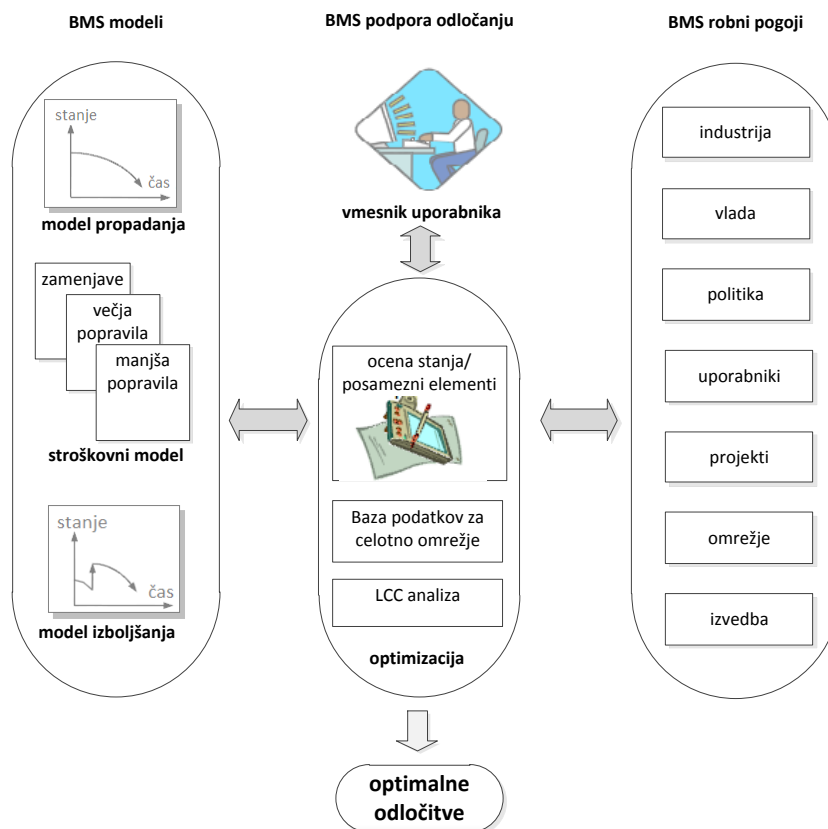
Implementacija zadnje točke je po mnenju avtorjev težko izvedljiva, saj je potrebno v skupno rešitev integrirati cilje, ki so lahko med seboj izključujoči, hkrati pa je celovita integracija obeh sistemov v skupen sistem izjemno kompleksna (slika 2.9).



Slika 2.9: Vrsta BMS in integracija posameznih ravni sistema (Hegazy in sod., 2004)

Figure 2.9: Types of BMS and integration of their individual levels (Hegazy et al., 2004)

Tovrsten odločitveni sistem mora omogočiti vključitev mnogih omejitev in robnih pogojev, saj je potrebno upoštevati tako pogoje z nivoja omrežja kot tiste z nivoja posameznega projekta. Hkrati potrebuje analize oziroma modele, ki so sposobni napovedovati stopnjo propadanja objektov v prihodnosti (v konkretnem primeru le-ta temelji na genetskih algoritmih), napovedovati oceno stroškov vzdrževanja in popravil ter določiti, za koliko se bo predvidoma izboljšalo stanje objekta po izvedenih sanacijskih delih. K temu je potrebno dodati še LCC analizo, s pomočjo katere se optimizirajo predvideni stroški (slika 2.10). Razviti sistem je bil preverjen na izbranem omrežju, ki ga je sestavlja deset prekladnih konstrukcij mostov, rezultati pa so bili po mnenju avtorjev zadovoljivi. Tudi dodatna preverjanja so izkazovala dobre rezultate, zaradi česar so se avtorji odločili nadaljevati delo na tem področju. Nadaljnji cilji so bili razširitev BMS na vse mostne elemente, upoštevanje stroškov uporabnikov mostov za primere obvozov, zastojev ali zmanjšanja hitrosti, izdelati zanesljiv model napovedovanja propadanja elementov in vgraditev modula, ki bi bil v pomoč pri planiranju izvajanja različnih vzdrževalnih in sanacijskih del.



Slika 2.10: Komponente kombiniranega BMS (Hegazy in sod., 2004)

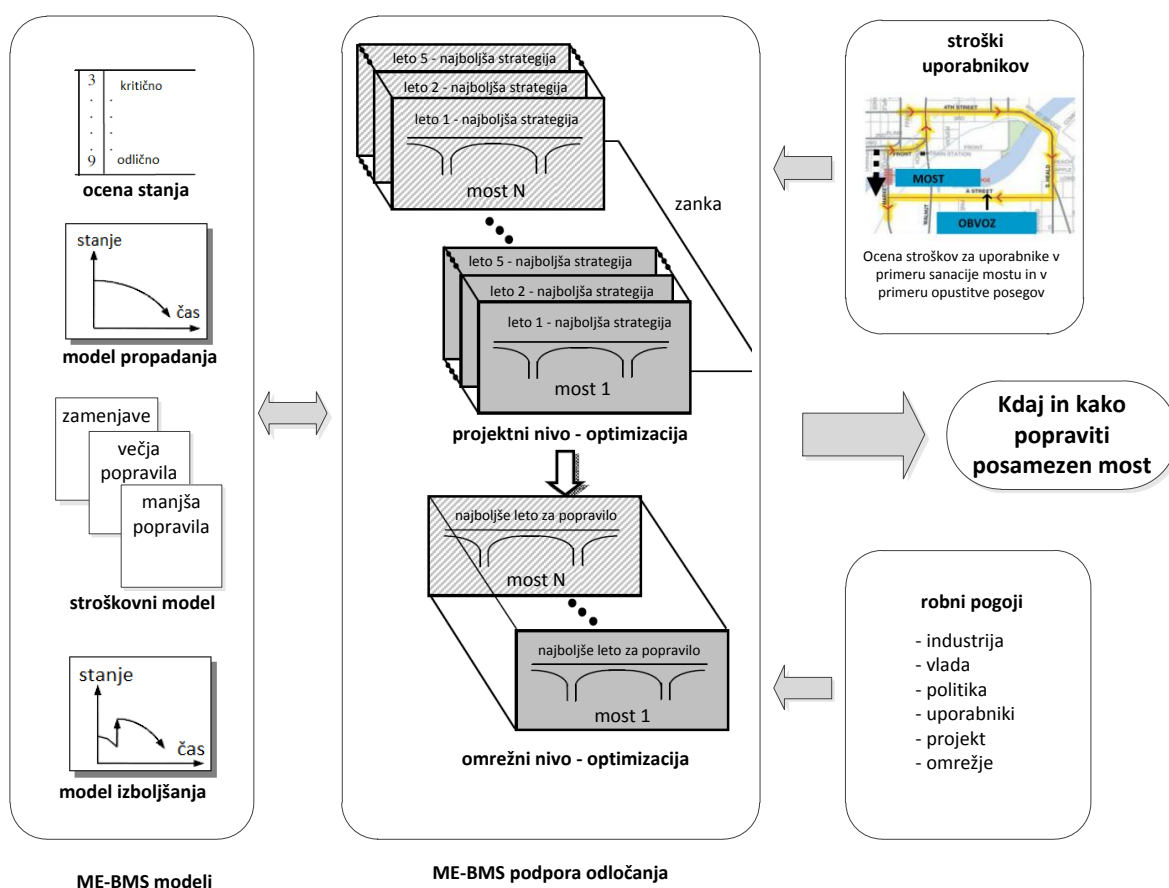
Figure 2.10: Components of combined BMS (Hegazy et al., 2004)

Glede na prispevek, ki je bil objavljen nekaj let kasneje (Elbehairy, 2007), naj bi bili cilji skoraj v celoti izpolnjeni. Avtorji so prvotni odločitveni sistem razširili in ga poimenovali več elementni BMS (ang. Multi-element Bridge Management System, ME-BMS). Izpopolnjeni model obravnava vse elemente premostitvenih objektov, upošteva stroške uporabnikov, za napovedovanje stanja objektov v prihodnosti, to je njihovega nadaljnega propadanja, uporablja Markovske verige, v račun optimizacije porabe finančnih sredstev pa je med drugim vključena tudi LCC analiza. Da avtorji dosežejo izvedljivost in integracijo navedenih analiz in modelov, uvedejo nekatere poenostavitve, kot je na primer uporaba enostavnejših izračunov stroškov sanacij in optimizacija porabe finančnih sredstev po posameznih letih in ne za celotno analizirano obdobje.

Kot je razvidno iz slike 2.11, upošteva obravnavani ME-BMS v sklopu določanja optimalnega poteka vzdrževalnih in sanacijskih del vrsto robnih pogojev in stroške uporabnikov, pri čemer si pomaga z več tipi ozko namenskih odločitvenih modelov. V prvi fazi se izračunajo optimalni ukrepi na projektnem nivoju, to je za posamezen objekt, nato pa se rezultati združijo na omrežni nivo, kjer se v odvisnosti od predvidenih letnih finančnih sredstev



določijo optimalni ukrepi za posamezno leto na nivoju celotnega omrežja. Zaradi velikega obsega upoštevanih podatkov optimizaciji na nivoju projektov in omrežja potekata zaporedno, saj naj bi bilo hkratio obravnavanje vseh podatkov preobsežno. Število računskih operacij z dodajanjem posameznih skupin podatkov narašča namreč eksponentno. Verificiranje modela so poleg testiranja s strani avtorjev izvedli tudi zaposleni z ameriške uprave za transport, ki ima v upravljanju premostitvene objekte na avtocestah v vseh ameriških zveznih državah. Kljub pozitivnim prvim odzivom avtorji ugotavljajo, da bo potrebno novo razviti ME-BMS še dograditi, saj je bilo potrebno v nekaterih segmentih odločitvenega modela poseči po poenostavitvah, ki lahko bistveno vplivajo na končne rezultate.



Slika 2.11: Ogrodje več-elementnega BMS (Elbehairy, 2007)

Figure 2.11: Multi-element BMS framework (Elbehairy, 2007)

Hegazy, Elbehairy in sodelavci podajajo v svojem prispevku dragocen znanstveni prispevek z izvedbo raziskave primernosti uporabe štirih tipov algoritmov; genskih algoritmov, mešanih žabjih skokov, optimizacijo z roji in kolonijo mravelj, ki je vsebovana v istem delu (Elbehairy, 2007). Prvo naštetata algoritma sta že v začetnih preverjanjih pokazala bistveno boljše rezultate kot druga dva, zato avtorji v nadaljevanju obravnavajo le optimizacijo z roji in kolonije mravelj. Ugotovljeno je bilo, da je natančnost končnih rezultatov in s tem optimizacija

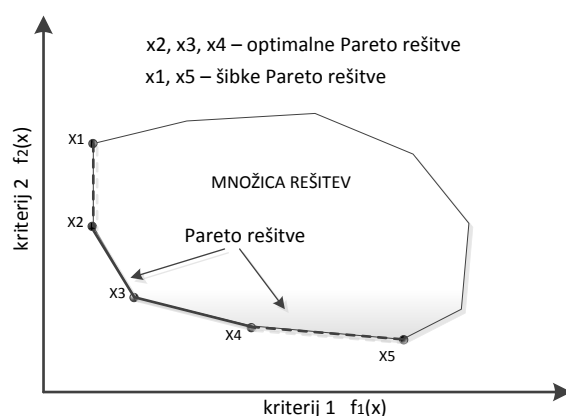
vzdrževanja in obnove mostov v veliki meri odvisna tudi od parametrov, ki jih algoritem upošteva. Kot enega pomembnejših parametrov avtorji navajajo optimizacijo po posameznih letih. Bolj primerno je namreč izvesti optimizacijo v okviru izbranih časovnih obdobj kot na primer optimizacijo za posamezen objekt oziroma skupino objektov.

Možnosti uporabe LCC analize v sklopu analiziranja zajetih podatkov in optimizacije odločitvenih procesov so dokaj široke. Ena izmed njih je tudi njena uporaba v sklopu obravnavanja potresnega tveganja pri mostovih, kjer je potrebno hkrati oceniti še potencialno škodo v primeru potresa in določiti preventivne sanacijske ukrepe (Ellingwood, 2005, Padgett in sod., 2009). Tovrstna analiza zahteva integriranje podatkov o verjetnosti pojava potresa določene jakosti, stanju potresne odpornosti mostu, oceni škode v primeru pojava potresa ter oceni stroškov sanacije. Cilj analize je določiti tiste ojačitvene ukrepe za posamezen most, katerih izvedba pred pojavom potresa bi pomenila preprečitev škode v večjem obsegu, kot so bili stroški izvedbe preventivnih ojačitvenih ukrepov. Konkretna analiza (Padgett in sod., 2009) je bila izvedena za štiri tipe mostov na treh različno aktivnih seizmičnih območjih, za vsako izmed kombinacij pa so predvideli izvedbo sedmih različnih utrditvenih ukrepov. Njeni rezultati kažejo, da ukrep, katerega izvedba bi bila upravičljiva pri vseh tipih mostnih konstrukcij in/ali na različno aktivnih seizmičnih območjih, ne obstaja. Tako je potrebno tudi s pomočjo razvitega modela za vsak objekt izdelati samostojno analizo, katere rezultati nam podajo primerne preventivne utrditvene ukrepe.

Za razliko od obravnavanja utrditvenih ukrepov pred nastopom potresa, so na Tajvanu razvili model za ekonomsko vrednotenje popotresnega pristopa k sanaciji premostitvenih objektov (Cheng in sod., 2009). Cilj modela je povečati objektivnost in učinkovitost odločanja pri izboru objektov, ki morajo biti (v primeru močnejšega potresa) sanacijskih ukrepov deležni prvi. Model sestavljajo tri izhodiščni kriteriji in sicer ocena stroškov in časa popravil, ocena stroškov uporabnikov zaradi prometne zapore objekta v času del ter model ekonomskega vrednotenja posameznih predlaganih ukrepov. S slednjim se določijo najnižji skupni stroški upravljalca in uporabnikov objektov. Pri tem je interes upravljalca doseči najnižji denarni strošek izvedbe potrebnih sanacijskih ukrepov, interes uporabnikov pa čim manjše število dni zaprtja objekta za promet. Opisani model, katerega dolgoročni cilj je gotovo njegova integracija v polno delujoč sistem za upravljanje s premostitvenimi objekti, je trenutno v raziskovalni fazi.

Glavni namen vgradnje LCC analize v posamezen BMS je optimizacija porabe finančnih sredstev na dolgoročni ravni. Večina tovrstnih sistemov ima (poleg zagotovitve varnosti pri uporabi, ki je glavni razlog že za samo izvajanje terenskih pregledov) tako v sklopu optimizacije odločitev en cilj in sicer minimaliziranje stroškov pri zagotavljanju zadovoljivega

stanja celotnega omrežja premostitvenih objektov. V zadnjih letih pa prihaja do poskusov izdelave več-ciljnega sistema za upravljanje z objekti. Tako so na primer izvedeni poskusi izdelave BMS, ki obravnavajo hkratno optimizacijo stroškov, življenjske dobe objektov in njihove varnosti pri uporabi (Furuta in Kameda 2006). Avtorja poskušata optimizirati odločitve na podlagi treh kriterijev, vendar aplikacija ni zmožna hkrati upoštevati tudi sicer vedno prisotnih omejitev, kot so na primer omejena finančna sredstva, kar je za v praksi uporabne odločitvene modele nujno. Za procesiranje podatkov sta avtorja uporabila Niched-Pareto genetske algoritme. Njuna rešitev temelji na iskanju Pareto optimalne lokacije oziroma lokacij za iskane rešitve (slika 2.12). Na sliki je prikazano relativno preprosto iskanje rešitev pri dveh ciljih, pri več ciljih pa je iskanje bistveno bolj zapleteno in presega okvire pregleda literature. Pri uporabi genetskih algoritmov in Pareto optimalnih rešitev je potrebna previdnost, saj razen v primeru dvokriterijskega iskanja rešitev najbolj primeren način ocenjevanja množic rešitev še vedno ni dorečen oziroma ni jasno ali sploh obstaja (Zitzler in sod., 2003).

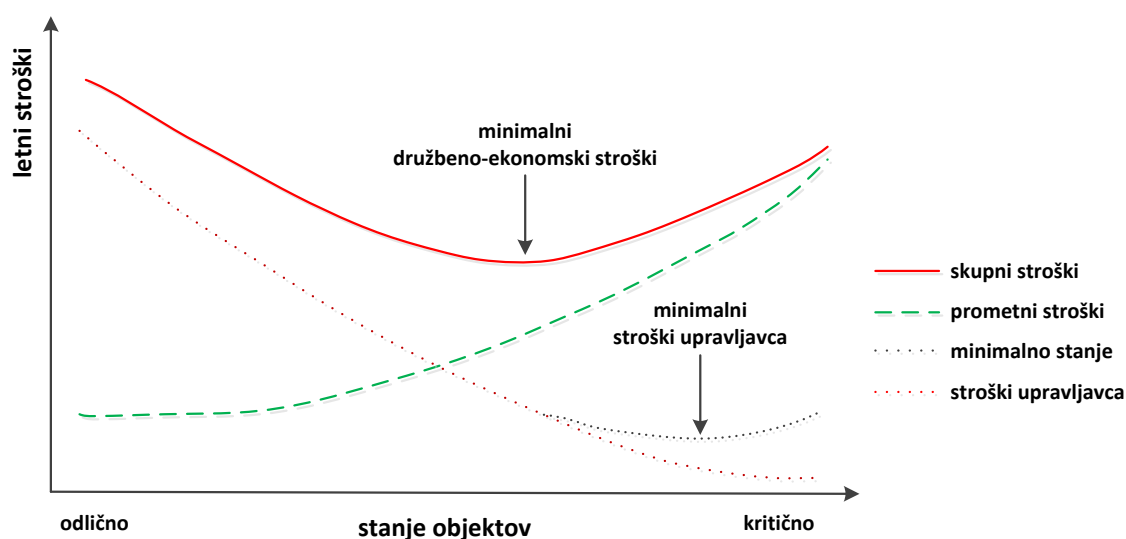


Slika 2.12: Pareto optimalna lokacija rešitev (Furuta in Kameda, 2006)

Figure 2.12: Pareto optimal location solution (Furuta and Kameda, 2006)

Alternativo predstavljenim odločitvenim sistemom, ki potrebujejo velike količine vhodnih podatkov in jih s pomočjo različnih analiz podrobno obravnavajo, predstavljajo poenostavljeni sistemi. Slednji nam lahko dajo osnovne informacije in usmeritve za nadaljnje delo in jih uporabljamo pri odločanju o temeljnih strategijah. Na Finskem so tako izdelali poenostavljen sistem za upravljanje s premostitvenimi objekti, katerega uporabnost so preverili na primeru betonskih mostov (Ruotoistenmaki, 2007). Med seboj so primerjali tri strategije vzdrževanja; obstoječi način izvajanja vzdrževalnih del, izvajanje ukrepov takoj po pojavu poškodb in strategijo izvajanja le nujnih (neodložljivih) ukrepov. Izkaže se, da je finančno najugodnejša zadnja varianta. To je predvsem posledica dejstva, da je proces propadanja mostov v veliki večini primerov zelo počasen, posledično pa je možnost nenadne porušitve posameznega mostu zaradi hitrega poslabšanja stanja, v času med dvema inšpekcijskima pregledoma, zelo majhna.

Izvajanje izključno nujnih vzdrževalnih ukrepov sicer pomeni minimalne stroške za upravljalca, nikakor pa to ne drži za stroške uporabnikov in širše gledano, družbe. Ugotovljeno je bilo (Mannisto in sod. 2001), da dosežemo minimalne družbeno-ekonomske stroške, povezane s premostitvenimi objekti pri bistveno višjem nivoju vzdrževanja, kot je tisti, ki je potreben za doseganje minimalnih stroškov upravljalca (slika 2.13). Iz grafa na sliki lahko sklepamo, da moramo za optimizacijo stroškov, povezanih z uporabo in upravljanjem premostitvenih objektov, predhodno določiti cilje optimizacije oziroma moramo določiti, za katere subjekte bi radi optimizacijo stroškov dosegli. Seveda pa si lahko za cilj zadamo tudi izpolnitev obeh optimizacij v določenem razmerju.



Slika 2.13: Stroški v odvisnosti od stanja objektov (Mannisto in sod., 2001)

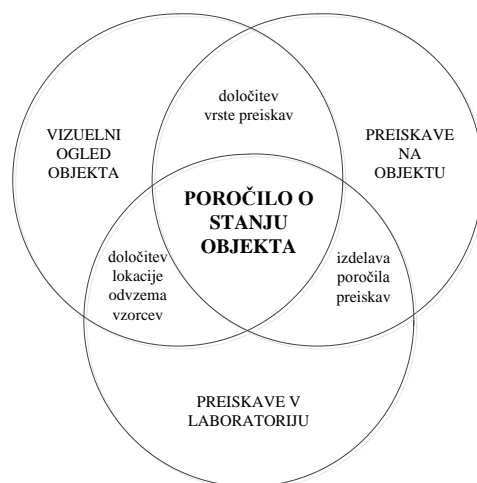
Figure 2.13: Costs as a function of bridge condition (Mannisto et al., 2001)

Kljub dokaj kratkemu času sistematičnega pregledovanja in analiziranja premostitvenih objektov je iz strokovne in znanstvene literature razvidno, da obstaja več smeri razvoja sistemov za njihovo upravljanje. Avtorji pri obravnavanju in razvoju BMS uporabljajo različne algoritme, modele in analize, različni pa so lahko tudi nekateri končni cilji sistemov. Glavni cilj sistemov je načeloma v vseh primerih isti, to je optimizacija porabe finančnih sredstev v izbranem časovnem obdobju.

## 2.2 REPUBLIKA SLOVENIJA

Slovenske literature je na temo vzdrževanja premostitvenih objektov zelo malo, pri čemer je ta za obdobje pred letom 1991 skoraj neobstoječa. Glede na dolžino predvsem avtocestnega omrežja do tega leta in z njim povezanega števila daljših premostitvenih objektov je majhno

število publikacij na to temo pričakovano. Eden prvih prispevkov je bil objavljen v gradbenem vestniku (Cafnik, 1985). Navedene so tipične poškodbe mostov, najpogostejši vzroki njihovega nastanka ter postopki saniranja. Kot največja potreba za izvajanje in evidentiranje rednih pregledov je navedena izdelava oziroma organiziranje baze podatkov, ki bi vsebovala čim več podatkov o posameznem objektu kot so; čas gradnje, uporabljeni materiali, opravljeni pregledi, opravljena vzdrževalna ter sanacijska dela in podobno. Podatkovna baza je bila v naslednjih letih izdelana in se tudi danes redno dopolnjuje z novimi objekti in podatki. V prispevku je grafično prikazanih več vrst najpogostejših poškodb, proces karbonatizacije betona, načini sanacij posameznih elementov mostov kot tudi povezanost delovnih procesov pri izdelavi poročil o stanju objekta (slika 2.14), ki so temelj za učinkovito in uporabno bazo podatkov. V članku se avtor sklicuje predvsem na nemško literaturo, kar priča o skoposti slovenskih oziroma jugoslovanskih prispevkov v tem obdobju.



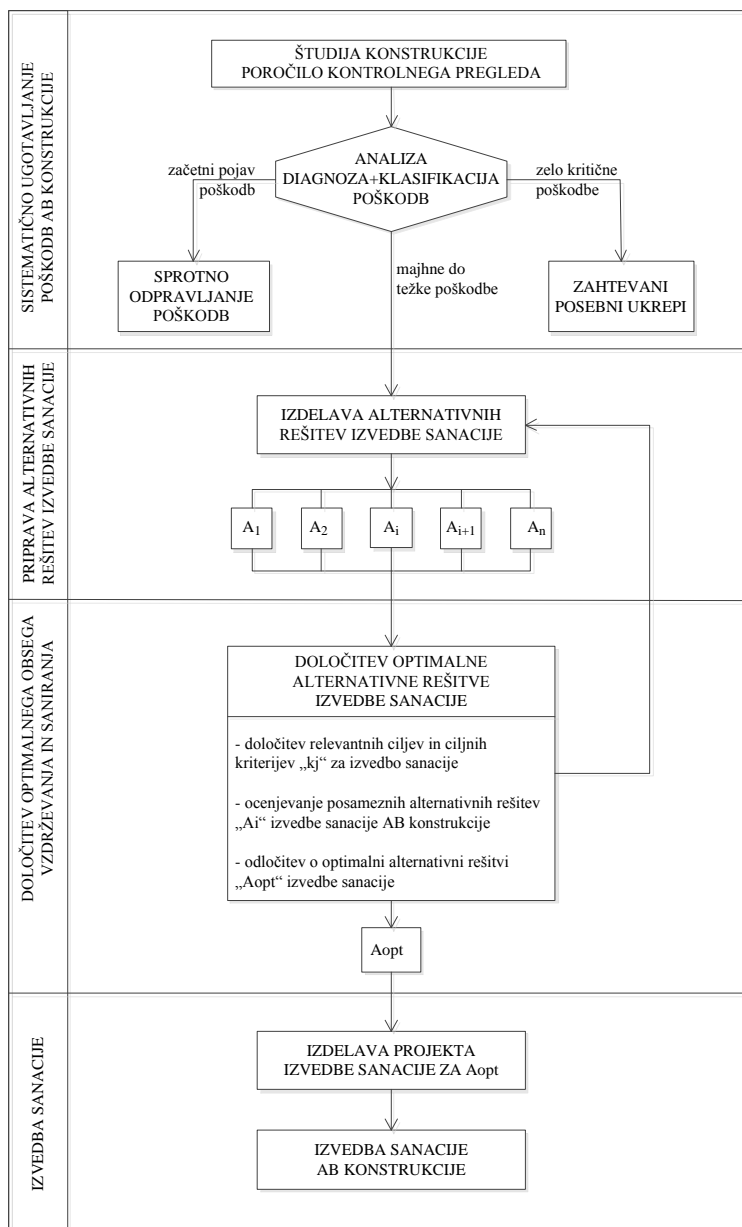
Slika 2.14: Povezanost delovnih faz izdelave poročila o stanju objekta (Cafnik, 1985)

Figure 2.14: Report work stages connections (Cafnik, 1985)

Število strokovnih člankov na obravnavano temo je v Sloveniji po osamosvojitvi nekoliko poraslo, medtem ko eno redkih znanstvenih publikacij predstavlja doktorska disertacija z naslovom "Organizacija sistematičnega ugotavljanja poškodb armiranobetonskih konstrukcij in določitev optimalnega obsega vzdrževalnih del" (Cafnik, 1992). Kljub temu, da so v naslovu navedene armiranobetonske konstrukcije na splošno, je avtor največji poudarek namenil premostitvenim armiranobetonskim objektom. Slednji so med vsemi tipi obravnavanih konstrukcij najbolj izpostavljeni različnim vplivom, tako mehanskim kot tudi kemijskim. Disertacija v sklopu pregleda literature ugotavlja, da "*pri nas praktično nimamo literature, ki bi obravnavala problematiko vzdrževanja in saniranja armiranobetonskih konstrukcij*"(str. 12). Nadaljuje s poglavji o kontrolnih pregledih, načinih izvedbe preiskav, analiziranju karakterističnih poškodb ter načinu saniranja in vzdrževanja armiranobetonskih

konstrukcij. Načini izvajanja kontrolnih pregledov pri nas tedaj še niso bili predpisani, zato je kratko povzetih več standardov zahodno evropskih držav. Na podlagi slednjih so se sicer še v istem letu za potrebe pregledov premostitvenih objektov izdelali tudi slovenski predpisi, ki jih brez večjih sprememb uporabljamo še danes. Poglavji o načinih izvedbe preiskav in analiziranju karakterističnih poškodb natančno opisujeta vrste preiskav ter analiz za armiranobetonske konstrukcije. Tudi te se v nespremenjeni obliki uporabljajo še danes, dodanih pa je bilo manjše število novih metod, ki so posledica napredka v tehnologiji in s tem pojava novih aparatov, ugotavljajo pa prisotnost in obseg istih vrst poškodb kot že uporabljene metode.

Osrednji del doktorske disertacije je predlog metodologije za določitev optimalnega obsega vzdrževanja in saniranja armiranobetonskih konstrukcij, ki jo avtor razdeli v štiri osnovne sklope oziroma skupine aktivnosti (slika 2.15). S stališča takratne stopnje razvoja sistemov upravljanja infrastrukturnih objektov ter informacijske tehnologije je bila prikazana tako imenovana makro logika napredna, z današnjega stališča pa je zastarela predvsem s stališča načina iskanja optimalne rešitve.

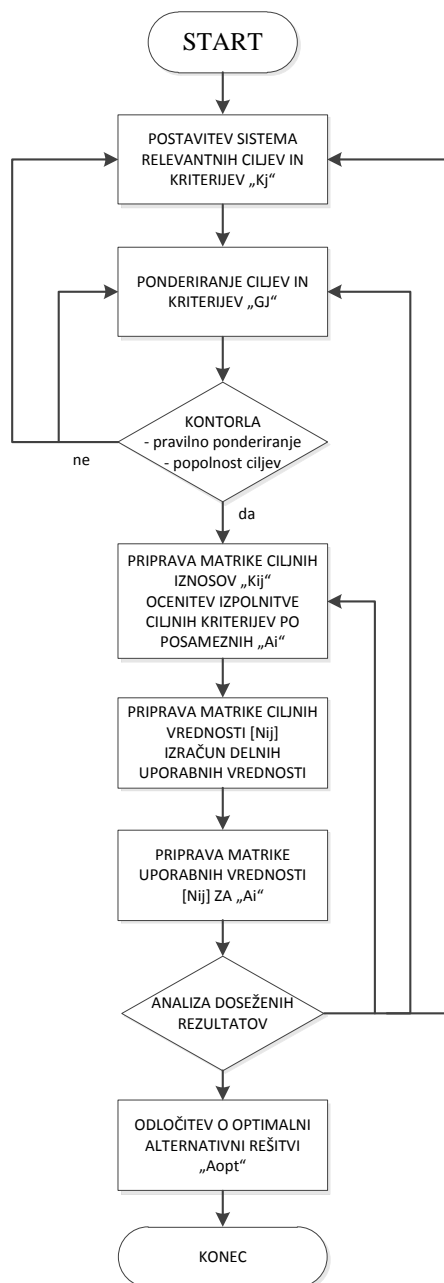


Slika 2.15: Prikaz makro logike povezav posameznih skupin aktivnosti za doseg optimalnega načina vzdrževanja – sanacije armiranobetonskih konstrukcij (Cafnik, 1992)

Figure 2.15: Macro logic connections between the groups of activities to achieve optimal maintenance – reinforced concrete structure rehabilitation (Cafnik, 1992)

Najzahtevnejši sklop reševanja problema gotovo predstavlja "Določitev optimalne alternativne rešitve", ki jo avtor išče s pomočjo uvedbe algoritma (slika 2.16). Pravilnost algoritma kot celote in posameznih elementov kot so določitev ciljev, ponderji ter izdelava matrik preveri na praktičnem primeru viadukta Peračice. V sklepu so navedeni potrebni pogoji za zagotovitev objektivnih rezultatov, h katerim med drugim spadajo pravilne diagnoze tipa poškodb in pravilna določitev intenzivnosti ugotovljenih poškodb. Navedena podatka še danes predstavljata največji problem pri vrednotenju stopnja poškodovanosti celotnega fonda

premostitvenih objektov, saj lahko različni pregledovalci enake poškodbe ocenijo različno, s čimer je njihovo objektivno vrednotenje onemogočeno. Kot predlogi za nadaljnje raziskovanje so predlagani uvedba ekspertnega sistema na področju ugotavljanja poškodb, potreba po pripravi pravilnikov in standardov ter nadaljnje raziskave na področju tehnologij in materialov za potrebe izvajanja sanacijskih ukrepov. Nekateri izmed predlogov so se v določeni meri pričeli izvajati že v letu izdelave obravnavanega dela.



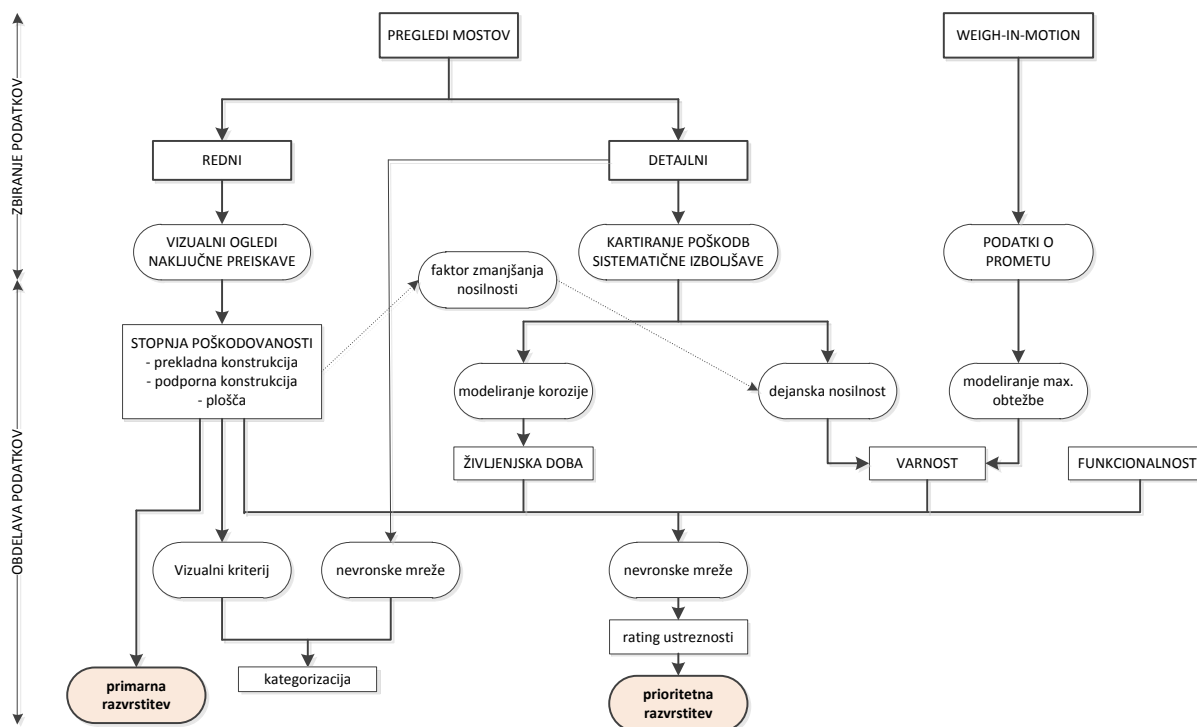
Slika 2.16: Algoritem odločanja o optimalni alternativni rešitvi "Aopt" za izvedbo sanacije (Cafnik, 1992)

Figure 2.16: Decision-making algorithm for determining the optimal solution "Aopt" for the implementation of structure rehabilitation (Cafnik, 1992)



Ministrstvo za promet je pričelo z naročanjem izdelav različnih metodologij in smernic sicer že leto prej, vendar je šlo za interne dokumente, ki niso bili dostopni širši javnosti. Ena prvih je bila raziskovalna naloga z naslovom "Metode za ocenjevanje zanesljivosti mostne konstrukcije" (Terčelj in sod., 1990), medtem ko je bilo zaključno poročilo na to temo z naslovom "Vrednotenje varnosti cestnih mostov" (Žnidarič in sod., 1992) izdano dve leti kasneje. Oba prispevka je izdelalo podjetje ZRMK z namenom njunega čim prejšnjega implementiranja v prakso. Poročilo se v vsebini opira na predhodne raziskave na področju vzdrževanja in sanacije mostov v republiki Sloveniji, med drugim tudi na prej navedeno raziskovalno nalogo. V njem je natančno opisana prva metoda za ocenjevanje poškodovanosti premostitvenih konstrukcij, ki vključuje računalniško zajemanje in obdelavo podatkov. Navedeni so elementi premostitvenih objektov, možni tipi in obseg poškodb na posameznem elementu, vrste sanacijskih ukrepov, predpisana je tudi oblika poročila oziroma zapisnika za posamezen pregledan objekt. Metoda se z manjšimi dopolnitvami uporablja pri rednih in glavnih pregledih premostitvenih objektov še danes.

V naslednjih letih je bilo narejenih večje število raziskav in razvojnih projektov na tem področju. Razvita metodologija se je pričela, sicer na teoretični osnovi, dopoljevati z bolj sofisticiranimi metodami, ki obravnavajo dejansko starost objektov, njihovo preostalo življenjsko dobo in določitev ustreznosti (Žnidarič, 1995). Ustreznost konstrukcij naj se ne bi ugotavljala le, ko se zaradi poškodb močno poslabša njihovo stanje, temveč tudi kot redni postopek njihovega sistema upravljanja. Na sliki 2.17 sta prikazani dve glavni komponenti sistema, pri čemer zbiranje podatkov vsebuje redne preglede, detajlne preglede ter ugotavljanje teže in gostote prometa, obdelava podatkov pa naj bi določila stopnjo poškodovanosti, varnost konstrukcije, življenjsko dobo in njeno funkcionalnost. Navedene karakteristike se naj bi s pomočjo nevronske mreže združile v eno merilo, to je rating ustreznosti.



Slika 2.17: Predlog poteka zbiranja in obdelave podatkov ter razvrščanja objektov po prioritetah v sistemu upravljanja mostov (Žnidarič, 1995)

Figure 2.17: Collection and processing of data proposal with classifying structures according to priorities in the BMS (Žnidarič, 1995)

Stopnja poškodovanosti objekta se določi s seštevanjem ponderiranih vrednosti vseh poškodb, ki jih je za vsak element mostu dodelil pregledovalec. Na ta način se dobi primarna razvrstitev vseh pregledanih objektov, pri čemer se upošteva le stopnja njihove splošne poškodovanosti. V tem primeru gre za klasično vrednotenje stanja, ki se pri nas uporablja od leta 1992, natančneje pa je predstavljeno v poglavju 3.2.1. Varnost konstrukcije, katere izračun ni bil nikoli vpeljan v splošno prakso, se za potrebe modela določi s tako imenovanim rating faktorjem RF:

$$RF = \frac{\phi \cdot R_d - \gamma_G \cdot G_n}{\gamma_Q \cdot Q_n} \quad (2.10)$$

kjer je  $\phi$  faktor zmanjšanja računske nosilnosti,  $R_d$  računska nosilnost prereza,  $G_n$ ,  $Q_n$  vplivi stalne in prometne obtežbe v kritičnem prerezu in  $\gamma_G$ ,  $\gamma_Q$  parcialni varnostni koeficienti za stalno in prometno obtežbo.

Vplivi prometne obtežbe se določajo s pomočjo posebne obtežne sheme, vrednosti parcialnih varnostnih koeficientov pa so odvisne od točnosti računanja vplivov ter gostote

prometa na mostu. Ocenjevanje življenjske dobe se lahko določi po dveh postopkih. Prvega je avtor poimenoval tradicionalni in temelji na vizualnih pregledih in z njimi pogojenim predvidevanjem hitrosti propadanja objekta v prihodnosti. Rezultat tovrstnega postopka je lahko zaradi neizkušenosti pregledovalcev ali drugih razlogov precej nezanesljiv. Drugi pristop temelji na modeliranju interakcije agresivnega okolja in betonskih konstrukcij. Na diagramu (slika 2.17) je postopek imenovan modeliranje korozije, načina obravnavanja funkcionalnosti posameznega objekta avtor v članku ne navaja.

V naslednjem letu je avtor skupaj s sodelavci objavil še dva članka na temo upravljanja z mostovi. Prvi (Žnidarič, 1996) obravnava izključno segment kontrole varnosti obstoječih mostov. Poleg stopnje poškodovanosti je po navedbi avtorja za objektivno analiziranje dejanskega stanja konstrukcije potrebno preveriti tudi njegovo varnost. Račun realne varnosti naj bi temeljil na uporabi dejanskih in ne projektiranih vrednostih stalne in prometne obtežbe. Nosilnost in stalno obtežbo lahko določimo s pomočjo detajlnega pregleda konstrukcije, za določitev prometne obtežbe pa dobimo najbolj natančne podatke z metodo tehtanja vozil (ang. Weigh-in-motion, WIM), medtem ko drugo (manj natančno) možnost predstavljajo obtežne sheme. Predlagan način izračuna varnosti je preverjen na dveh praktičnih primerih, članek pa zaključuje ugotovitev, da je izračunana varnost mostu močno odvisna od kakovosti uporabljenih podatkov. Slednje naj bi bilo z izvedbo detajlnega pregleda konstrukcije in uporabljenimi metodo tehtanja vozil zagotovljeno.

Drugi članek obravnava nove pristope upravljanja in vzdrževanja cestnih mostov kot celote (Peruš in sod., 1996). V prispevku so predstavljeni trije modeli upravljanja mostov, ki skupaj dajo celoto: model ratinga ustreznosti, model kategorizacije poškodovanosti in model preostale življenjske dobe. Pri tem je v vseh modelih poseben poudarek namenjen propadanju betonskih konstrukcij, medtem ko stanja ležišč in dilatacij avtorji ne obravnavajo, kar zmanjšuje uporabnost predlaganega pristopa za ocenjevanje stanja mostov kot celot, saj lahko ti elementi bistveno vplivajo na obnašanje oziroma uporabnost objekta. Tudi to delo poudarja pomembnost primerne oziroma natančne zajema in ureditve čim večje baze podatkov kot predpogoja za pravilen končni rezultat, pri verifikacijah matematičnih formulacij modelov pa avtorji opozarjajo na slabosti posameznih modelov, ki pridejo do izraza v nekaterih primerih. V naslednjem letu je izdan krajši članek na temo strategij pregledovanja premostitvenih objektov (Bevc in sod., 1997). Sistematično opiše štiri glavne tipe pregledov; osnovne, periodične, posebne in detajlne. Najbolj natančno so obravnavani detajlni pregledi, saj so med vsemi najbolj zahtevni. Navedeni so primeri, v katerih je njihova izvedba potrebna, našteje so njihove faze in vrste možnih meritev in preiskav. Izdelav študij ter strokovnih in znanstvenih prispevkov, ki bi obravnavale področje vzdrževanja in sanacij

premostitvenih objektov oziroma širše gledano upravljanja z njimi, v naslednjih desetih letih v Sloveniji popolnoma zamre. Redki slovenski avtorji, ki obravnavajo področje pa z namenom doseganja večjega števila bralcev kot glavni avtorji ali soavtorji objavljajo prispevke v tujini (O'Brien in sod., 2005, Žnidarič in sod., 2011 in podobno).

Naslednje relevantne objave v slovenskem tisku zasledimo šele na Konferenci vzdrževanje, zaščita in popravila betonskih konstrukcij, kjer Marc (2006) uvodoma kratko povzema zgodovino načinov zbiranja in shranjevanja podatkov o premostitvenih objektih na slovenskih avtocestah in hitrih cestah. V nadaljevanju predstavlja organiziranost služb, zadolženih za vzdrževanje premostitvenih objektov ter plane za prihodnost. Ugotavljanje poškodb se uradno izvaja v sklopu rednih in glavnih pregledov, ki so podeljeni usposobljenim organizacijam na javnem razpisu. Ti se, kot je bilo v pregledu literature že navedeno, izvajajo na podlagi metodologij, ki so bile razvite v sklopu raziskovalnih nalog med leti 1989 in 1991. Hkrati pa ob svojih rednih obhodih objekte pregledujejo tudi vzdrževalci, ki o njih vodijo evidence in zapisnike. Tako v nekaterih primerih oni prvi opozorijo na pomanjkljivosti. Odločitev za obnovo posameznega objekta po navedbah avtorice (ki je bila v času izdelave članka odgovorna oseba za vzdrževanja celotnega avtocestnega omrežja) temelji na njegovem dejanskem stanju, možnosti nadaljnjega poslabšanja poškodb kot tudi na podlagi odločitve ali bo v določeni sezoni saniran celoten odsek trase, na kateri se nahaja obravnavani objekt. Tako se pri odločitvi o terminu pristopa k obnovi dejansko upoštevajo trije dejavniki in ne le trenutno stanje objekta. V zaključku članka so navedene spremembe v gradnji premostitvenih objektov od pričetka gradnje avtocestnega omrežja do danes ter s tem povezana kakovost gradnje, ki se je v tridesetih letih grajenja avtocest močno dvignila. Med drugim so posebej navedeni problemi pri nekaterih vrstah vgrajenih dilatacij in z njimi povezane poškodbe. Ti elementi ter poškodbe in vzdrževalna dela povezana z njimi so bili v večini predhodno opisanih prispevkov v celoti zanemarjeni, čeprav gre za zelo pomemben element premostitvenih konstrukcij, ki skupaj z ležišči sodi med najbolj obremenjene elemente te vrste premostitvenih objektov.

Zaradi svoje pomembnosti so zahtevane tehnične lastnosti ležišč in dilatacij opredeljene tako v tehničnih specifikacijah (TSC 07.106 in TSC 07.107) kot tudi v več standardih. Ležišča namreč prenašajo celotno stalno in koristno obtežbo prekladnih konstrukcij na opornike in temeljna tla, skupaj z dilatacijami pa omogočajo premike zaradi temperaturnih raztezanj in krčenj materiala ob nespremenjenih pogojih uporabe za promet. To področje pregledno obdela Bevc s sodelavci (2004) skupaj s spremljajočo regulativo. Razvojno raziskovalna naloga "Določitev kriterijev za prevzem cementnobetonskih premostitvenih objektov ob izteku garancijske dobe" (Bevc in sod., 2008) predstavlja zadnjo relevantno literaturo na

področju vzdrževanja in upravljanja s premostitvenimi objekti v RS, pri čemer je potrebno poudariti, da navedena literatura ni javno dostopna. V njej so opisani posamezni elementi premostitvenih objektov, naštetih in kratko predstavljenih so tudi posamezni tipi ležišč in dilatacij. Glavna pozornost je namenjena obravnavanju različnih vrst poškodb na posameznih elementih, načini sanacije posameznih vrst poškodb v sklopu naloge niso predpisani. V zaključku naloga na kratko predstavlja postopke upravljalcev objektov ob izteku garancijske dobe premostitvenih objektov v nekaterih evropskih državah in ZDA. Avtorji predlagajo izdelavo tako imenovanih rojstnih listov za vse premostitvene objekte. Ti bi vsebovali vse tiste podatke, ki jih potrebujemo za upravljanje objektov (v prvi vrsti za uporabo in vzdrževanje), zbirali oziroma dopolnjevali pa bi se skozi njihovo celotno življenjsko dobo.

## **3 PREGLED OBSTOJEČIH SISTEMOV UPRAVLJANJA**

### **3.1 TUJINA**

#### **3.1.1 Združene države Amerike**

V Združenih državah Amerike se uporabljajo trije tipi BMS in sicer Pontis, BRIDGIT ter specifični sistemi v posameznih zveznih državah (Stratt, 2010). Najbolj razširjen je sistem Pontis, ki se uporablja kar v devetintridesetih zveznih državah, medtem ko se BRIDGIT uporablja v treh. Zvezne države Alabama, Indiana, New York, Severna Karolina in Pennsylvania so razvile svoje BMS.

Na terenu se v sklopu pregledov objektov za potrebe BMS vzporedno izvedejo tudi ocene stanja mostov v skladu z nacionalnim standardom za preglede mostov (NBIS) (Bridge Inspection Manual, 2009). Njegov zgodovinski razvoj je kratko podan v pregledu literature, v nadaljevanju je kratko predstavljena le njegova vsebina. Namen standarda je podati izključno oceno stanja za posamezen most oziroma njegove posamezne konstrukcijske sklope (in ne posamezne elemente mostu). Standard most deli na cestišče, prekladno konstrukcijo, podkonstrukcijo in strugo z brežinami. Vsak izmed navedenih delov je ocenjen z oceno od 0 do 9 (preglednica 3.1), pri čemer ocena 0 pomeni prepoved uporabe mostu brez možnosti sanacije, ocena 9 pa je namenjena izključno nepoškodovanim mostom, ki so bili grajeni pred kratkim. Za ostale velikostne rede poškodb se uporabijo ocene med 1 in 8. Za vsako oceno je opisno natančno navedeno, kakšen tip, obseg in mesto poškodbe mora posamezen del mostu imeti, da dobi določeno oceno. S tako natančno definicijo se močno zmanjša možnost subjektivne ocene stanja posameznega mostu s strani pregledovalca. Kljub temu mora ta še vedno biti inženir gradbene stroke in imeti vsaj osnovna znanja s področja propadanja gradbenih materialov, sicer ne more zadovoljivo oceniti velikostnega reda oziroma resnosti posamezne poškodbe. NBIS nadaljnjega analiziranja stanja mostov oziroma zajetih podatkov v sklopu pregleda ne obravnava, temveč so temu namenjeni v nadaljevanju predstavljeni BMS.

Preglednica 3.1: Ocena stanja podkonstrukcije objekta v sklopu standarda NBIS (Bridge Inspection Manual, 2009)

Table 3.1: Bridge substructure assessment with NBIS standard (Bridge Inspection Manual, 2009)

KODA	NBIS opis stanja podkonstrukcije
<b>N</b>	<b>Ne obstaja:</b> uporabljeno za prepuste.
<b>9</b>	<b>Odlično stanje:</b> Podkonstrukcija je nova (grajena pred kratkim).
<b>8</b>	<b>Zelo dobro stanje:</b> Podkonstrukcija ima majhna (in izolirana) območja propadanja.
<b>7</b>	<b>Dobro stanje:</b> Podkonstrukcija ima majhna (ali izolirana) območja propadanja. <ul style="list-style-type: none"> <li>Beton: manjše razpoke, zamakanja ali luščenje (izolirano razslojevanje).</li> <li>Jeklo: manjše poškodbe protikorozijskega premaza in/ali površinska korozija (brez zmanjšanja prereza).</li> <li>Les: manjše preperevanje ali cepljenje (brez razpadanja ali drobljenja).</li> <li>Zidanje: manjše preperevanje ali pokanje (območje členkov nima znakov propadanja).</li> </ul>
<b>6</b>	<b>Zadovoljivo stanje:</b> Podkonstrukcija malo do zmerno propada. Izpiranje materiala ali erozija sta prisotna le na majhnih izoliranih območjih. Možni so manjši pomiki ali deformacije. <ul style="list-style-type: none"> <li>Beton: zmerne razpoke, zamakanja ali luščenje (manjše razslojevanje).</li> <li>Jeklo: zmerne poškodbe protikorozijskega premaza in/ali površinska korozija (možno manjše zmanjšanje prereza).</li> <li>Les: zmerno preperevanje ali cepljenje (manjša območja razpadanja ali drobljenja).</li> <li>Zidanje: zmerno preperevanje ali pokanje (območje členkov ima lahko manjše znake propadanja).</li> </ul>
<b>5</b>	<b>Zadostno stanje:</b> Podkonstrukcija zmerno propada – potrebna so popravila. Prisotno zmerno izpiranje materiala, erozija ali spodkopavanje. Možni so manjši posedki, pomiki, deformacije ali izguba temeljnih tal. <ul style="list-style-type: none"> <li>Beton: obsežne razpoke, zamakanja ali luščenje (lokalno so lahko prisotne konstrukcijske razpoke) – možno zmerno razslojevanje.</li> <li>Jeklo: obsežne poškodbe protikorozijskega premaza in/ali površinska korozija (zmerno zmanjšanje prereza).</li> <li>Les: obsežno preperevanje ali cepljenje (zmerno velika območja razpadanja ali drobljenja).</li> <li>Zidanje: obsežno preperevanje ali pokanje (na območju členkov lahko prihaja do manjših pomikov).</li> </ul>
<b>4</b>	<b>Slabo stanje:</b> Podkonstrukcija pospešeno propada – za zagotavljanje stabilnosti so lahko potrebna popravila. Možna obsežna izpiranje materiala, erozija ali spodkopavanje. Možni znatni posedki, pomiki, deformacije ali izguba temeljnih tal. <ul style="list-style-type: none"> <li>Beton: pospešeno nastajanje razpok, območij zamakanja ali luščenj (prisotne so lahko večje konstrukcijske razpoke) – možno obsežno razslojevanje.</li> <li>Jeklo: pospešeno nastajanje korozije (večje zmanjšanje prereza).</li> <li>Les: pospešeno preperevanje ali cepljenje (velika območja razpadanja ali drobljenja).</li> <li>Zidanje: pospešeno preperevanje ali pokanje (na območju členkov lahko prihaja do pomikov).</li> </ul>
<b>3</b>	<b>Resno stanje:</b> Podkonstrukcija močno propada. Možna potreba po takojšnjem ukrepanju. Izpiranje materiala, erozija ali spodkopavanje so povzročili večje posedke, pomike, deformacije ali izgubo temeljnih tal. <ul style="list-style-type: none"> <li>Beton: Velika območja zamakanj ali velika območja konstrukcijskih razpok.</li> <li>Jeklo: Velika zmanjšanja prevezov nosilnih elementov.</li> <li>Les: Močno preperevanje ali cepljenje.</li> <li>Zidanje: Močna razpokanost, deformiranost ali pomiki.</li> </ul>
<b>2</b>	<b>Kritično stanje:</b> Podkonstrukcija je kritično poškodovana ali propada (obstaja možnost porušitve) – možna zapora mostu do izvedbe sanacijskih ukrepov. Možna izguba nosilnosti temeljnih tal zaradi izpiranja.
<b>1</b>	<b>Neizbežna porušitev:</b> Most je zaprt za promet zaradi odpovedi podkonstrukcije – z izvedbo sanacijskih ukrepov možen ponovni promet za lahka vozila.
<b>0</b>	<b>Odpoved konstrukcije:</b> Most je zaprt zaradi odpovedi podkonstrukcije – sanacija ni možna (potrebna nadomestna gradnja).



### 3.1.1.1 Sistem Pontis

Sistem za upravljanje z mostovi Pontis je bil razvit na podlagi pogodbe z Ameriško zvezno upravo za avtoceste (FHWA) v začetku devetdesetih let prejšnjega stoletja. Sistem se je v preteklosti dopolnjeval in nadgrajeval približno vsaki dve leti, danes pa vključuje različne multimedijske vsebine, možnost analiziranja omrežja mostov z določenimi cilji uspešnosti in podobno. Zadnja verzija sistema ima oznako Pontis 5.2, v uporabo pa je prišla v letu 2011 (Pontis 5.2 User Training, 2011). Osnova sistema je predstavljena v priročniku "Pontis Bridge Inspection Manual" (2007), na podlagi katerega se v sklopu pregledov objektov izvajajo vse nadaljnje analize in postopki. Priročnik je pregledovalcem v pomoč pri določanju stanja posameznega elementa objekta in predpisovanju možnih ukrepov. Možna stanja posameznega elementa oziroma obsega poškodbe na njem so določena z ocenami od 1 do 3, od 1 do 4 ali od 1 do 5, odvisno od tipa poškodbe in elementa, na katerem se poškodba nahaja. Stanje gumene dilatacije je na primer mogoče oceniti le z ocenami od 1 do 3. Oceno 1 se pripiše nepoškodovani ali minimalno poškodovani dilataciji, oceno 2 poškodovani dilataciji, ki jo je moč sanirati in oceno 3 dilataciji, ki je potrebna zamenjave (slika 3.1).



ocena stanja: 1



ocena stanja: 2



ocena stanja: 3

Slika 3.1: Možne ocene stanj gumenih dilatacij v sistemu Pontis (Pontis Bridge Inspection Manual, 2007)

Figure 3.1: Possible assessments of the rubber expansion joint states in the Pontis system (Pontis Bridge Inspection Manual, 2007)

Za razliko od gumenih dilatacij se na primer nosilne jeklene elemente, ki so za nosilnost konstrukcije pomembnejši, ocenjuje natančneje in sicer z ocenami od 1 do 5. Ocene za posamezni velikostni razred poškodovanosti so prikazane v preglednici 3.2, vizualno pa so posamezna stanja prikazana na sliki 3.2. Na prikazan način so obravnavani vsi tipi poškodb

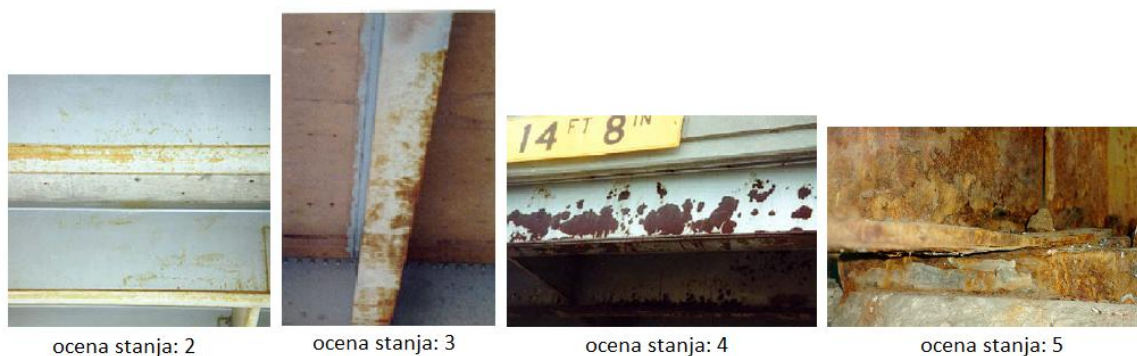


posameznega elementa mostu. S tem so možnosti subjektivnega ocenjevanja stanja mostov ali njihovih posameznih elementov močno zmanjšane, posledično pa je zanesljivost rezultatov vseh nadaljnjih analiz, ki se izvedejo z zajetimi podatki, visoka.

Preglednica 3.2: Možne ocene stanj nosilnih jeklenih elementov v sistemu Pontis (Pontis Bridge Inspection Manual, 2007)

Table 3.2: Possible states of load-bearing steel elements in the Pontis system (Pontis Bridge Inspection Manual, 2007)

OCENA STANJA	OPIS STANJA	UKREPI
1	<b>Dobro.</b> Ni znakov korozije, antikorozijska zaščita je nepoškodovana in opravlja svojo funkcijo.	
2	<b>Zadovoljivo.</b> Ni znakov aktivne korozije. Antikorozijska zaščita lokalno odpada ali se lušči, lahko se pojavljajo prvi znaki površinske korozije.	
3	<b>Antikorozijske zaščita odpada.</b> Prevladuje površinska korozija, korozije ki bi kazala na zmanjšano nosilnost prereza, ni.	Obnova antikorozijske zaščite.
4	<b>Antikorozijska zaščita odpada, pojavlja se globinska korozija.</b> Zmanjšane nosilnosti jeklenega prereza še ni.	Obnova antikorozijske zaščite.
5	<b>Zmanjšana nosilnost prereza.</b> Korozija povzroča izgubljanje nosilnosti, trajnosti in uporabnosti elementa ali mostu kot celote.	Konstruktivna sanacija elementa in obnova antikorozijske zaščite.

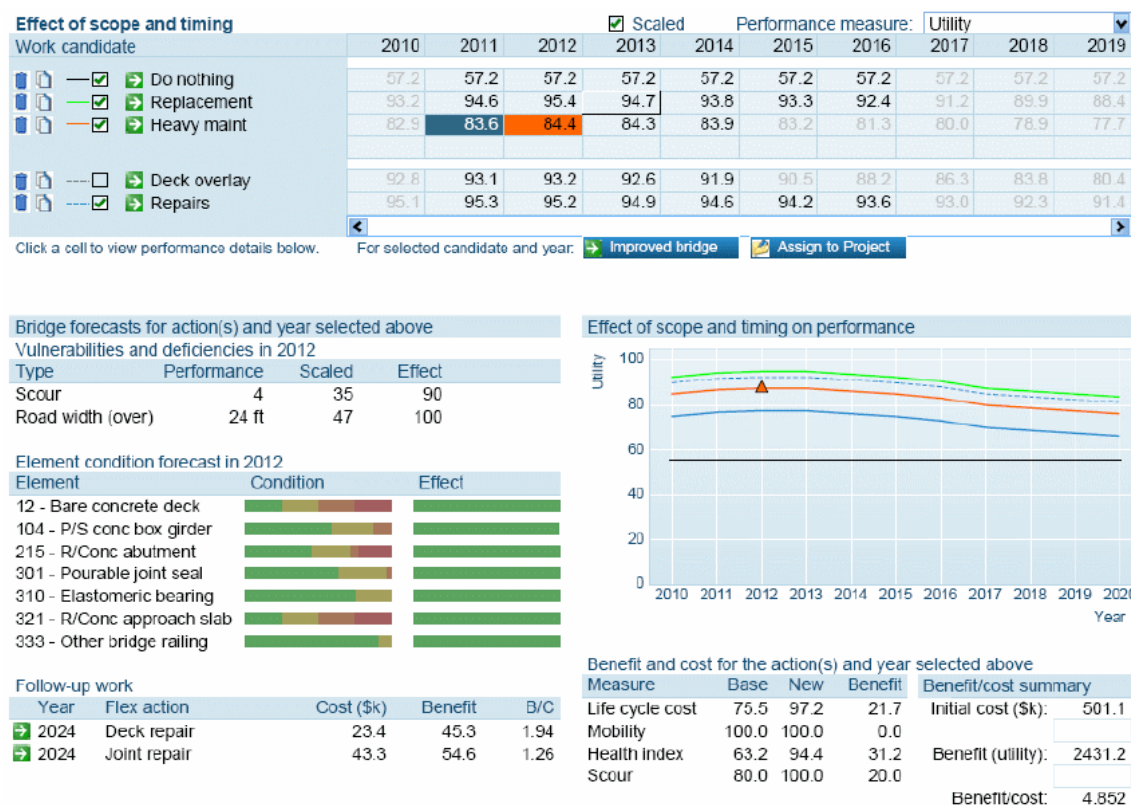


Slika 3.2: Možne ocene stanj nosilnih jeklenih elementov v sistemu Pontis (Pontis Bridge Inspection Manual, 2007)

Figure 3.2: Possible assessments of the bearing steel elements states in the Pontis system (Pontis Bridge Inspection Manual, 2007)

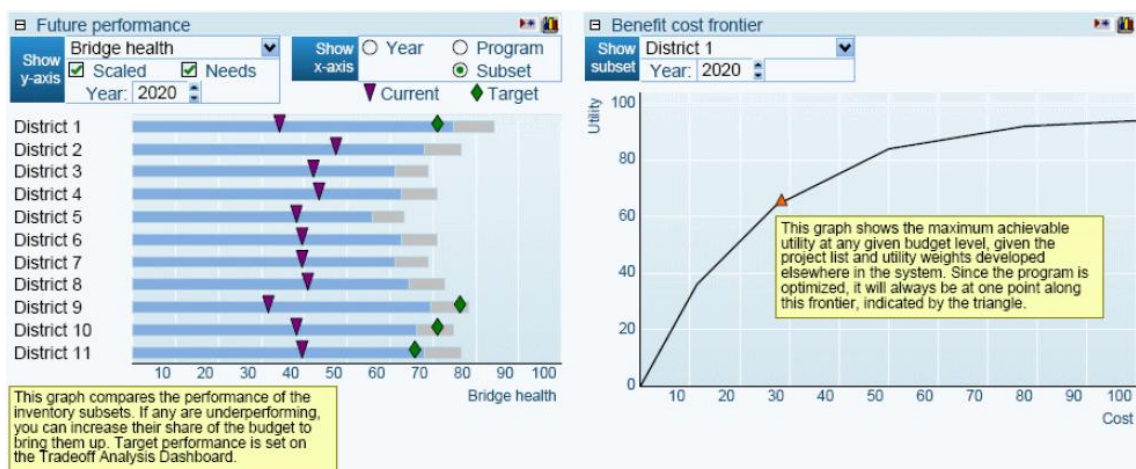
Analize se izvajajo tako na nivoju posameznega mostu, kot tudi na nivoju celotne mreže mostov ali le posameznega segmenta mreže. Analiziranje stanja, tveganj in nadaljnjih ukrepov za posamezen most je osrednji del sistema Pontis, iz katerega nato izhajajo analize za dele ali celotna omrežja mostov (Pontis Update 2010). Načini analiziranja obstoječega stanja kot tudi napovedovanje prihodnjega stanja mostov in njihovih poškodb iz dostopne

literature niso razvidni, saj gre za "know-how" podjetja, ki je aplikacijo razvilo in jo tudi trži. Primer izpisa informacij za posamezen most je prikazan na sliki 3.3, za mostno omrežje pa na sliki 3.4.



Slika 3.3: Prikaz zapisa za posamezen most v komercialnem programu Pontis (Pontis Update, 2010)

Figure 3.3: Record for an individual bridge in the commercial program Pontis (Pontis Update, 2010)



Slika 3.4: Prikaz zapisa za analizo omrežja mostov v komercialnem programu Pontis (Pontis Update, 2010)

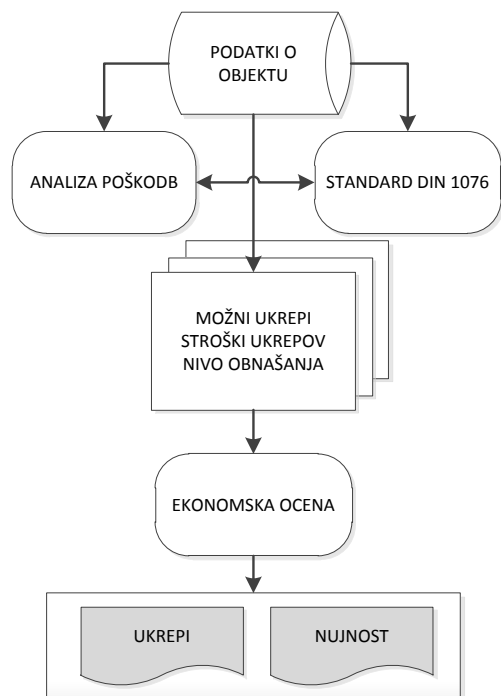
Figure 3.4: Record of the bridge network analysis in the commercial program Pontis (Pontis Update, 2010)

Update, 2010)

### 3.1.2 Nemčija

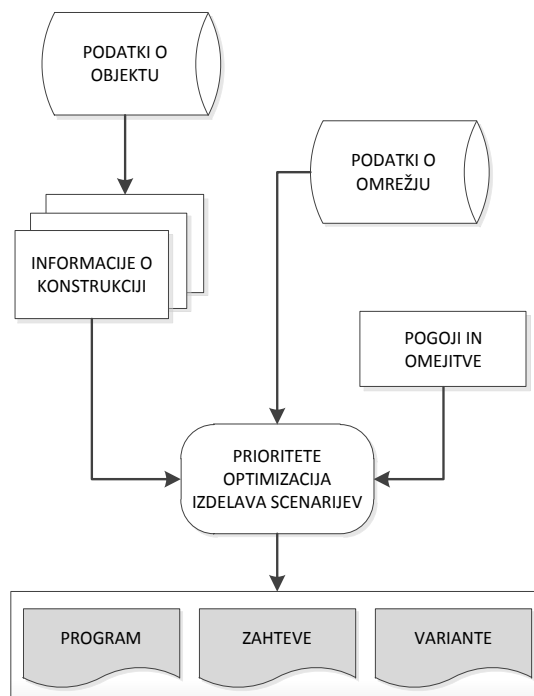
V Nemčiji v sklopu Ministrstva za transport, gradnjo in prostorski razvoj (nem. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung) deluje Zvezni avtocestni raziskovalni inštitut (nem. Bundesanstalt für Straßenwesen - BAST). Inštitut obravnava in raziskuje področja kot so gradnja, uporaba, varnost, upravljanje in vzdrževanje cest ter avtocest, eden izmed oddelkov inštituta pa obravnava izključno vzdrževanje inženirskih objektov (BAST, 2012a).

BAST je za potrebe vzdrževanja premostitvenih objektov na območju Nemčije razvil lastni BMS, ki je v grobem deljen na dva nivoja in sicer projektni ter omrežni. Na projektnem nivoju se optimizirajo odločitve za posamezen premostitveni objekt (slika 3.5), medtem ko se na omrežnem nivoju določijo prioritete in možne strategije vzdrževanja za posamezne scenarije (slika 3.6). O finančnih sredstvih se ne odloča v sklopu BMS, temveč na Nemškem zveznem informacijskem sistemu za avtoceste (nem. Bundesinformationssystem Strasse – BISStra) in Informacijskem sistemu za gradbene objekte (nem. Informationssystem Bauwerke – ISBW).



Slika 3.5: Proces izvajanja del na projektnem nivoju BMS (BAST, 2012a)

Figure 3.5: BMS project level work process (BAST, 2012a)



Slika 3.6: Proces izvajanja del na omrežnem nivoju BMS (BAST,2012a)

Figure 3.6: BMS network level work process (BAST, 2012a)

Pregled in analiziranje stanja premostitvenih objektov se v Nemčiji za potrebe BMS izvaja skladno s standardom DIN 1076, ki obravnava preglede in preskušanje inženirskih objektov, katerih raba je povezana s cestnim omrežjem. V njem so med drugim podana tehnična navodila o načinu in pogojih izvedbe posameznih tipov pregledov obravnavanih objektov. Pregledi se v splošnem izvajajo s triletnimi intervali, načeloma so vizualni, po potrebi pa se opravljajo na terenu tudi preprosti testi, ki so v standardu prav tako natančno definirani (DIN 1076, 2012). Analiziranje zajetih podatkov se izvaja s programsko opremo SIB-Bauwerke. Uporaba programa je za pregledovalce obvezna, pred njegovo uporabo pa pregledovalci opravijo usposabljanje. V program SIB-Bauwerke se vnesejo vsi tekom pregleda zajeti podatki in se v sklopu programa tudi analizirajo. Pregledovalec na podlagi pridobljenih informacij tekom pregleda s pomočjo programske opreme določi ocene za stabilnost, prometno varnost in trajnost za posamezen most. Z oceno 1 je ocenjeno brezhibno stanje, s 4 pa slabo oziroma kritično stanje posameznega vidika, ki zahteva takojšnjo sanacijo mostu. Navedene ocene so osnova za določitev indeksa stanja celotnega mostu. Glede na njegovo vrednost se most razvrsti v eno od šestih kategorij ustreznosti stanja; zelo dobro, dobro, zadovoljivo, nezadovoljivo, kritično in neustrezno (Everett in sod., 2008).

### **3.1.3 Finska**

Finska je za potrebe upravljanja svojih cest, ki vključuje tudi upravljanje in vzdrževanje mostov, ustanovila Agencijo za upravljanje cest – Finnra (ang. Finnish National Road Agency). Za potrebe kakovostnega usposabljanja pregledovalcev, objektivnega izvajanja terenskih pregledov, analiziranja zajetih podatkov in izvedbe sanacij premostitvenih objektov, je agencija izdelala pet priročnikov, katerih navodila je potrebno upoštevati pri izvajanju prej naštetih nalog (Everett in sod., 2008). Finski sistem je unikaten z več vidikov. Glede na razpoložljivo literaturo je edini, ki ima za pregledovalce predpisano večdnevno izobraževanje s končnim izpitom na terenu, po izpitu pa je potrebno licenco letno obnavljati z izvedbo pregledov dveh referenčnih mostov. Primernost kandidata za novo obdobje potrди komisija za ocenjevanje. Hkrati imajo edini predpisan postopek sanacije posameznih tipov poškodb, v sklopu sanacije objekta pa preiščejo tudi vzroke za nastanek poškodb in ugotovitve poskušajo uporabiti za izboljšanje obstoječega BMS.

Glede na večino ostalih držav določa finska metodologija izredno dolg interval med izvedbo posameznih pregledov, saj ta znaša kar 5 let. V Nemčiji se na primer pregledi izvajajo s 3 letnimi intervali, v Sloveniji pa je posamezen premostitveni objekt pregledan vsaki 2 leti. Unikaten je tudi sistem zagotavljanja kakovosti celotnega omrežja premostitvenih objektov. Kot referenco za stanje omrežja imajo izbranih 106 mostov in 26 prepustov, ki statistično

gledano predstavljajo reprezentativni vzorec vseh mostov na Finskem, ostale objekte pa nato primerjajo z referenčnimi.

### **3.1.4 Ostale države**

Države imajo precej različno zasnovane BMS in sicer tako v fazi zajemanja podatkov, njihovega analiziranja, kot tudi vrsti in obsegu končnih rezultatov, ki jih posamezen sistem poda (Adey in sod., 2010). Izmed 18 pregledanih sistemov vsi kot končni rezultat podajo oceno stanja objekta (načini izračuna te ocene so sicer različni), približno tri četrtine oceni tudi njihovo varnost pri uporabi, manj kot polovica pa na primer obravnava njihovo nosilnost. Pri oceni stroškov vzdrževanja in uporabe z izjemo enega vsi sistemi obravnavajo neposredne stroške sanacij oziroma popravil objektov, približno polovica pa pri oceni upošteva tudi stroške zaradi zastojev in indirektno stroške uporabnikov.

Polovica pregledanih sistemov obravnava napovedovanje propadanja objektov, od teh jih približno polovica uporablja probabilistični pristop, druga polovica pa najverjetneje determinističnega. Enaki odstotki oziroma razmerja veljajo tudi za uporabljene modele določitve izboljšanja stanja po izvedenih sanacijskih ukrepih. Napovedovanje prihodnjih dogodkov v večini sistemov zajema dobo do 10 let, ekstrem pa predstavlja japonski BMS, pri katerem je zahtevana doba predikcije kar 100 let.

## **3.2 REPUBLIKA SLOVENIJA**

Redni pregledi mostov in viaduktov se v Sloveniji izvajajo po metodologiji, ki jo je kot razvojno raziskovalno nalogo v letih 1989-1992 razvijal Zavod za raziskavo materialov in konstrukcij – ZRMK (Žnidarič in sod., 1990). V naslednjih treh letih sta bili izdelani še dve raziskovalni nalogi, katerih namen je bil dopolnitev metodologije, vendar do implementacije dopolnitev v prakso ni prišlo. Metodologija za pregledovanje in oceno varnosti mostov v Sloveniji bo tako letos dopolnila dvajset let uporabe v praktično nespremenjeni obliki.

### **3.2.1 Metodologija**

Metodologija temelji na analizi v sklopu pregleda ugotovljenih poškodb na materialih in opremi posameznega premostitvenega objekta. Poškodbe se za posamezne elemente objekta določajo ločeno, za skupno oceno stanja objekta pa se ocene posameznih elementov seštejejo v skupno oceno. Pri določanju prednostnega seznama popravil mostov



in ostalih premostitvenih objektov se primarno upošteva njihovo kakovostno stanje oziroma rating mostu  $R$ , ki se določi kot:

$$R = R_{ok} + R_{po} + R_{pr} + R_{ce} + R_{op}, \quad (3.1)$$

pri tem so  $R_{xy}$  ratingi posameznih delov objektov in sicer;  $R_{ok}$  okolice in rečnega korita,  $R_{po}$  podporne konstrukcije,  $R_{pr}$  prekladne konstrukcije,  $R_{ce}$  cestišča in  $R_{op}$  opreme objekta (ležišča, dilatacije, izlivniki in zaščitne naprave). Deli objektov so sestavljeni iz posameznih elementov. Tako je na primer podporno konstrukcijo navadno sestavljajo vsaj temelji, oporniki in krila, lahko pa vsebuje tudi druge elemente. Vsak izmed elementov je lahko nepoškodovan, ima eno poškodbo ali več poškodb različnih tipov. Rating vsakega tipa poškodbe na vsakem elementu se določi kot vsota mnogokratnikov:

$$R_{jk} = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n B_j \cdot K_{1,k} \cdot K_{2,j,k} \cdot K_{3,j,k} \cdot K_{4,j,k} \quad (3.2)$$

kjer je

- $n$  število elementov objekta,  $m$  pa število možnih vrst poškodb,
- $B_j$  osnovna vrednost poškodbe ali napake  $j$ , ki izraža možne posledice poškodbe materiala na nosilnost, trajnost in uporabnost elementa ali dela objekta,
- $K_{1,k}$  korekcijski faktor pomena elementa  $k$ , na katerem je poškodba  $j$ , za zanesljivost mostu kot celote,
- $K_{2,j,k}$  korekcijski faktor jakosti poškodbe  $j$  na elementu  $k$ ,
- $K_{3,j,k}$  korekcijski faktor razširjenosti poškodbe  $j$  na elementu  $k$ ,
- $K_{4,j,k}$  korekcijski faktor, ki poudari nujnost intervencije zaradi ogrožene varnosti, uporabnosti ali trajnosti elementa  $k$  ali mostu kot celote, zaradi poškodbe  $j$ .

Korekcijske faktorje oziroma uteži  $K_{2,j,k}$ ,  $K_{3,j,k}$  in  $K_{4,j,k}$  določi pregledovalec v sklopu izvedbe pregleda, medtem ko sta uteži  $B_j$  in  $K_{1,k}$  odvisni le od tipa poškodbe in elementa, na katerem se poškodba nahaja. Poškodbe  $B_j$  so ocenjene z vrednostmi od 0.5 do 5.0, odvisno od nevarnosti tipa poškodbe na odpoved delovanja ali porušitev posameznega elementa ali mostne konstrukcije kot celote. Z oceno 1.0 so na primer ovrednotene kolesnice na cestišču, s 3.0 korozija jekla za armiranje, z oceno 5.0 pa pretrg kabla za prednapenjanje:

$$B_j \in [0.5, 5.0] \quad (3.3)$$

Velikostni razred uteži  $K_{1,k}$  je odvisen od pomembnosti elementa za nosilnost konstrukcije. V primeru, da gre za primarni nosilni element, ki mora vedno nositi svoj del obtežbe, je utež večja kot v primeru sekundarnega nosilnega elementa, pri katerem se obtežba v primeru njegove odpovedi lahko prerazporedi na sosednje elemente. Glede na pomembnost lahko

faktor  $K_{1,k}$  zavzame vrednost:

$$K_{1,k} \in [0.3; 0.7; 1.0] \quad (3.4)$$

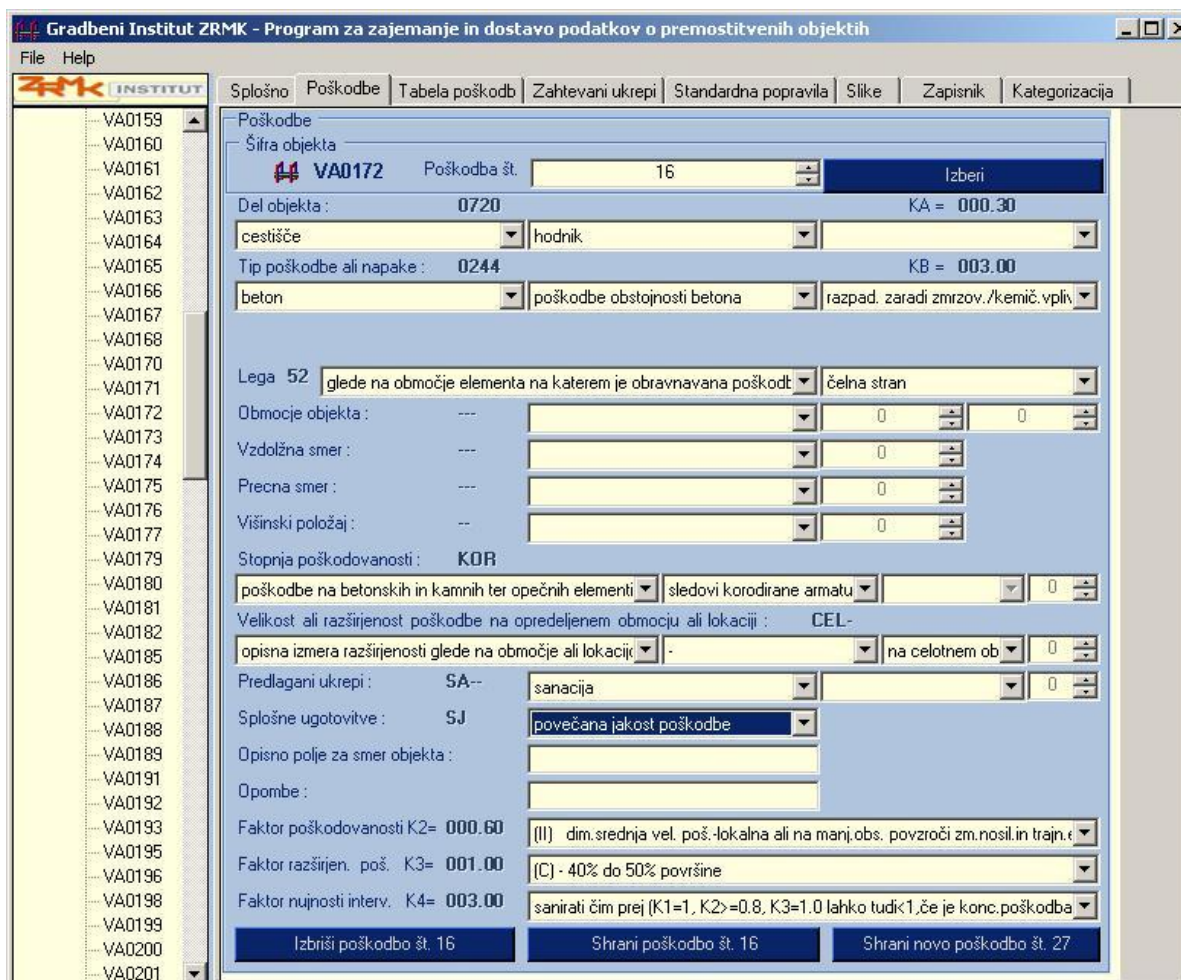
Faktor jakosti poškodbe  $K_{2,j,k}$  opisuje stadij poškodbe, ki je lahko začetni, progresivni, aktivni ali kritični. Faktor ni odvisen od obravnavanega elementa mostu, temveč od vrste poškodbe. Poškodbe so lahko po svoji naravi takšne, da nimajo tendence večanja in niti dolgoročno ne zmanjšujejo nosilnosti in trajnosti, lahko pa so močne in s tendenco večanja, ki bi lahko vodila v zmanjšanje nosilnosti prizadetega elementa ali mostu kot celote. Faktor  $K_{2,j,k}$  lahko zavzame vrednosti:

$$K_{2,j,k} \in [0.4; 0.6; 0.8; 1.0] \quad (3.5)$$

S faktorjem razširjenosti poškodbe  $K_{3,j,k}$  določamo obseg (ali pogostost) pojavljanja poškodbe na določenem elementu objekta. Kjer tip poškodbe omogoča njeno površinsko vrednotenje z določitvijo razmerja med nepoškodovano in poškodovano površino, je vrednost faktorja določljiva z relativnim deležem površine. V določenih primerih, kot so na primer razpoke na krajnih opornikih, pa je izbira vrednosti faktorja prepuščena presoji pregledovalca, saj si z razmerjem med poškodovano in nepoškodovano površino ne moremo pomagati. Faktor  $K_{3,j,k}$  ima lahko skladno z metodologijo vrednosti:

$$K_{3,j,k} \in [0.5; 0.8; 1.0] \quad (3.6)$$

S faktorjem nujnosti intervencije  $K_{4,j,k}$  najbolj vplivamo na rating posamezne poškodbe in s tem posledično tudi objekta kot celote, saj so vrednosti tega faktorja lahko 1.0 (popravilo poškodbe ni nujno, saj zaradi nje ne bo zmanjšana trajnost, uporabnost ali varnost mostu), 3.0 (poškodbo je potrebno sanirati čim prej, sicer je lahko v prihodnosti ogrožena nosilnost ali uporabnost ali trajnost mostu), 5.0 (poškodbo je potrebno sanirati takoj, ogrožena je nosilnost in trajnost mostu) in izjemoma tudi 10.0 (kadar zaradi poškodbe grozi nevarnost delne porušitve mostu). Zapis posamezne poškodbe v elektronski obliki, vključno s prikazom faktorjem, je prikazan na sliki 3.8.



Slika 3.7: Prikaz zapisa poškodbe v digitalni obliki (vir: GI ZRMK d.o.o.)

Figure 3.7: Damage report in digital form (source: GI ZRMK d.o.o.)

Določanje prioritete ukrepov za sanacijo se skladno z metodologijo izvede na podlagi ratinga mostov *R* in kategorizacije pomembnosti premostitvenih objektov (avtoceste, magistralne ceste, regionalne ceste). Poškodovani objekti se razdelijo v enega od treh poškodbenih razredov, ki so prikazani v preglednici 3.3. Za tiste, katerih rating *R* je nižji od 13, se ocenjuje, da so brez večjih poškodb, sanacijskih ukrepov ne potrebujejo in torej spadajo v 1. ali 2. poškodbeni razred.

Preglednica 3.3: Določitev poškodbenih razredov glede na vrednosti ratinga *R* (Žnidarič in sod., 1990)

Table 3.3: Bridge damage classes as a function of rating *R* (Žnidarič et al., 1990)

KATEG.	RAZRRED	3. razred	4. razred	5. razred
	avtoceste		13~28	25~52
magistralne ceste		17~36	31~64	55~105
regionalne ceste		21~44	37~76	65~120



Glede na razvrstitev mostu v posamezni razred, je potrebno izvesti sledeče ukrepe:

- 5. razred; sanacija je potrebna takoj,
- 4. razred; sanacijo je potrebno opraviti v roku treh let,
- 3. razred; potrebno je povečano vzdrževanje, s katerim omejimo večanje poškodb oziroma sanacijo se lahko odloži za obdobje šest let.

Predstavljena metodologija se v praksi uporablja tako pri izvedbi pregledov kot pri izdelavi zapisnikov o izvedenih pregledih. Na podlagi vizualne ocene se predpišejo tudi sanacijski ukrepi, nadaljnje preiskave posameznih konstrukcijskih elementov in podobno, kar sicer ni več del predstavljene metodologije. Opisani dodani okvirni program sanacijskih del je pomemben predvsem za oceno potreb po posameznih vrstah del.

### **3.2.2 Izvedba pregleda in izdelava zapisnika**

Slovenska metodologija upravljanja s premostitvenimi objekti (Žnidarič in sod., 1990) loči dve vrsti pregledov in sicer redne in glavne preglede. Redni pregledi, ki se opravljajo vsaki dve leti, zajemajo izključno vizualni ogled vseh delov objekta, pri čemer so izjema temelji in tisti deli mostov, ki se nahajajo pod vodo. Teh v sklopu rednih pregledov ni potrebno pregledati. Glavni pregledi objektov se opravljajo vsakih šest let, poleg vizualnega ogleda vseh elementov pa zajemajo tudi površinske preiskave trajnosti vgrajenih materialov (npr. fenolftaleinski test globine karbonatizacije betona) kar pomeni, da mora biti omogočen fizični kontakt pregledovalca s posameznim elementom objekta. Posledično je za izvajanje teh pregledov pogosto potrebna uporaba dvigal ali specialnega vozila za preglede mostov. Za razliko od rednih pregledov je potrebno v sklopu glavnih pregledov izvesti tudi preglede tistih elementov, ki so pod vodno gladino. Te preglede navadno opravljajo potapljači, ki imajo hkrati tudi formalno izobrazbo iz gradbene stroke. Za vsak pregled se izdelava zapisnik, iz katerega so razvidne vse poškodbe objekta, navedeni so potrebni sanacijski ali drugi ukrepi, s katerimi se ohranja trajnost in funkcionalnost objekta. Za dilatacije in ležišča se dodatno izpolnijo posebni obrazci, v katere se zabeležijo morebitne poškodbe, pomanjkljivosti ali napake v delovanju elementov.

Slovenska metodologija premostitvene objekte deli na enajst sestavnih delov in sicer:

1. okolica objekta,
2. rečno korito,
3. temelji,
4. oporniki,
5. ležišča,

6. prekladna konstrukcija,
7. cestišče,
8. predor,
9. dilatacije,
10. varnostne naprave, signalizacija in vodi,
11. izlivniki in naprave za odvodnjavanje.

Ti se nato nadalje delijo na posamezne elemente. Cestišče je tako sestavljeno iz vozišča, robnikov, hodnikov, robnega venca, dilatacijskih reg, stikov med elementi in podobno. Na ta način se pregleda in oceni stopnja poškodovanosti vsakega elementa in stika na mostu posebej, hkrati pa s tem dobimo tudi poškodovanost mostu kot celote. Poškodbe so glede na naravo svojega nastanka deljene v tri osnovne skupine in sicer:

1. napake v obnašanju konstrukcije,
2. poškodbe in napake materialov,
3. poškodbe in napake na elementih objekta.

Vrste poškodb so natančno definirane za vsakega izmed sestavnih delov objekta posebej, kar mora pregledovalec upoštevati pri pregledu ter pripravi zapisnika. Konstrukcijskemu jeklu je na primer mogoče v sklopu izdelave zapisnika pripisati pet vrst poškodb: manjkajoča protikorozijska zaščita, korozija materiala, poškodbe vozlišč, mehanske poškodbe ali zvijanje, manjkajoči svorniki, kovice ali zvari. Največ vrst poškodb in napak je sicer definiranih za betonske elemente, skupaj kar sedemnajst. Skladno z v prejšnjem poglavju opisano metodologijo ima vsaka izmed poškodb predpisano svojo relativno pomembnost oz. utež, ki je določena glede na njen vpliv na nosilnost in trajnost konstrukcije objekta kot celote ali njenega posameznega elementa.

Ko je v sklopu pregleda poškodba na posameznem elementu mostu identificirana, je potrebno za njeno identificiranje v sklopu naslednjih pregledov v zapisniku natančno definirati tudi njeno mikrolokacijo. Ta se določi s pomočjo strani neba, določitvijo voziščnega pasu, polja prekladne konstrukcije, bližine posameznih stikov ali drugih elementov in podobno. Na ta način je možno spremljanje nadaljnega razvoja vsake izmed identificiranih poškodb, njihov razvoj pa se beleži ob vsakokratni izvedbi pregleda. Zadnjo fazo obravnave poškodb v zapisniku predstavlja določitev faktorjev  $K_{2,i,j}$ ,  $K_{3,i,j}$  in  $K_{4,i,j}$ , kot je bilo opisano v predhodnem poglavju, zapis pa je prikazan na sliki 3.8. Določitev uteži je v domeni pregledovalca, ki se sicer mora držati predpisov metodologije, v mejnih primerih pa se za določitev vrednosti odloči na podlagi izkušenj. Glede na stanje poškodb posameznega objekta lahko pregledovalec v zapisniku predlaga izvedbo različnih preiskav, sanacijskih ukrepov in celo

menjavo posameznih elementov mostu. Predpisovanje sanacijskih ukrepov je obvezno za poškodbe, katerih vrednost za faktor  $K_{4,i,j}$  je bila določena na 3.0 ali več. Za poškodbe z vrednostjo 1.0 morebitne preiskave ali sanacijske ukrepe pregledovalec predpiše po lastni presoji.

Celoten zapisnik se zaključi z izdelavo prve strani zapisnika, ki je namenjena splošnim informacijam naročniku pregledov. Podane so informacije o datumu pregleda, imenih pregledovalcev, ugotovljenih spremembah glede na predhodni pregled, izvedenih sanacijskih ukrepih glede na predhodni pregled ter morebitnih posebnih zahtevanih ukrepih, ki jih mora vzdrževalec cest izvesti v čim krajšem času (slika 3.9).

The screenshot shows the 'Gradbeni Institut ZRMK - Program za zajemanje in dostavo podatkov o premostitvenih objektih' window. The main form is titled 'Splošni podatki' and contains the following information:

- Šifra objekta: **VA0172** Kraj: **HRIBCE** Objekt: **N**
- Ime: **GOZDNA CESTA** Odsek: **0055** Zacetek: **4414** Konec: **0**
- Splošni podatki:
  - Tip: redni pregled Vreme: oblačno Temperatura: 18
  - Vodja: dr. Blaž Dolinšek u Pregl.1: mag. Matej Kušar, u.d. Pregledovalec 2:
  - Zacetek: 20. sep. 2011 Konec: 20. sep. 2011 Zadnji pregled: 21. nov. 2007
  - Ocena: 3
- Spremembe od prejšnjega pregleda:
  - 01. Brez večjih sprememb.
  - 02.
  - 03.
- Izvedeni ukrepi od prejšnjega pregleda:
  - 01. Nobeden.
  - 02.
  - 03.
- Opuščeni ukrepi od prejšnjega pregleda:
  - 01. Vsi predpisani.
  - 02.
  - 03.
- Dogodki od prejšnjega pregleda:
  - 01.
  - 02.
  - 03.
- Odcitki instrumentov:
  - 01.
  - 02.
  - 03.
- Opisna ocena (komentar) stanja objekta:
  - 01. Objekt ima dokaj močno poškodovane vse zgornje
  - 02. Betonska površina hodnika razpada, vozišče je raz
  - 03. dilatacije dotrajane, ograji se lušči protikorozijska
  - 04. zaščita. Na stiku med robnim vencem in ploščo hod
  - 05. prihaja do močnega zamakanja.
  - 06.
  - 07.
  - 08.
  - 09.
  - 10.
- Posebni zahtevani ukrepi:
  - 01. Nadomestiti dotrajane dilatacije.
  - 02.
  - 03.
  - 04.
  - 05.
  - 06.
  - 07.
  - 08.
  - 09.
  - 10.

A 'Shrani' button is located at the bottom right of the form.

Slika 3.8: Prikaz prve strani zapisnika z osnovnimi informacijami o objektu (vir: GI ZRMK d.o.o.)

Figure 3.8: Front page of the report with basic information about the structure (source: GI ZRMK d.o.o.)



## 4 ZASNOVA SISTEMA ZA UPRAVLJANJE

### 4.1 SPLOŠNO

Sistemi za upravljanje s premostitvenimi objekti – BMS so orodje za optimizacijo vzdrževanja omrežja mostov z upoštevanjem dolgoročnih ciljev in proračunskih omejitev (OECD, 2001). Sistemi so torej namenjeni upravljanju obstoječih objektov, ki so že predani uporabi in ne obravnavajo njihovega celotnega življenjskega cikla.

Še pred nekaj desetletji so predhodniki današnjih BMS vsebinsko obsegali le popise osnovnih značilnosti posameznih premostitvenih objektov, njihovega stanja (poškodb) in čas izvedbe rednih in drugih pregledov. Njihov namen je bil izključno določitev najbolj poškodovanih objektov, ki so morali biti v čim krajšem času deležni sanacije. Z dokončanjem gradnje cestnih omrežij v večini evropskih držav kot tudi v ZDA pa se je pozornost stroke in znanosti s področja gradnje preusmerila na področje vzdrževanja omrežja. Pričel se je hiter razvoj različnih sistemov za upravljanje posameznih skupin objektov, med drugim tudi tistih za upravljanje s premostitvenimi objekti. Če je še v začetku devetdesetih let v večini držav BMS pomenil le v začetku odstavka našete aktivnosti, so bile zahteve do novo razvijajočih sistemov konec desetletja že bistveno večje. Projekt BRIME (natančneje opisan v pregledu literature), ki se je izvajal v Evropi med leti 1998 in 2001, je predvideval, da mora novodobni BMS obravnavati sledeča področja in vsebovati sledeče podatke (Woodward in sod., 2001):

- Popis vseh premostitvenih objektov (inventar).
- Stanje objektov in njihovih posameznih elementov ter njihovo spreminjanje s časom.
- Ocena tveganja za uporabnike.
- Upravljanje (management) operativnih omejitev in usmerjanje izrednih prevozov.
- Ocena stroškov za različne strategije vzdrževanja.
- Napovedovanje padanja nivoja obnašanja pri različnih strategijah vzdrževanja.
- Socialno-ekonomska pomembnost mostu (ocena indirektnih stroškov).
- Določitev načina prednostnega vzdrževanja.
- Nadzor porabe sredstev na kratko in dolgoročni osnovi.
- Optimizacija pri omejenih finančnih sredstvih.

Navedene smernice pomenijo dobro izhodišče za razvijanje novih ali nadgradnjo obstoječih sistemov upravljanja, vendar je pri njihovi implementaciji potrebno biti previden. Celovito upoštevanje nekaterih smernic, kot je na primer upoštevanje različnih strategij vzdrževanja, bi pomenilo potrebo po izredno velikem obsegu potrebnih podatkov in kasneje analiz, zato je navedena teoretična izhodišča pri prenosu v prakso potrebno deloma prilagoditi. Glavna cilja

obravnava premostitvenih objektov sta *zagotavljanje varnosti uporabnikom* in *optimizacija porabe finančnih sredstev* v sklopu njihovega vzdrževanja. Posledično celovito obravnavanje vseh v prejšnjem odstavku navedenih točk pri izdelavi novega sistema upravljanja po naši presoji ni nujno potrebno, bodo pa v fazi razvoja sistema upoštewane v največji možni meri. Glede na razpoložljivo literaturo in ugotovitve različnih avtorjev je moč cilj optimizacije finančnih sredstev razčleniti tudi podrobneje in ugotoviti, da so cilji upravljalcev premostitvenih objektov naslednji:

- ohranjanje fonda,
- izdelava objektivnih kriterijev za sprejemanje odločitev, ki temeljijo na inženirskih in ekonomskih temeljih,
- določanje srednjeročnih in dolgoročnih ciljev upravljanja in določitev primerne strategije za doseganje teh ciljev,
- dokazati ekonomsko upravičenost odločitev,
- prikaz dodane vrednosti za vložena finančna sredstva,
- potreba po izbiri upravičenih odločitev glede vzdrževanje znotraj razpoložljivih finančnih sredstev.

## **4.2 DELOVNI PROTOKOL SISTEMOV**

Zasnova sodobnih sistemov za upravljanje s premostitvenimi objekti sestoji, kot smo ugotovili tekom pregleda obstoječih sistemov upravljanja v tujini, iz štirih medsebojno odvisnih in zaporedno obravnavanih sklopov:

1. Zajem podatkov (izvajanje pregledov).
2. Določitev obstoječega stanja posameznega objekta.
3. Analiziranje podatkov.
4. Odločanje.

Nekateri sklopi so pri vseh sistemih zelo podobni, kar velja predvsem za izvajanje terenskih pregledov, medtem ko se sklop analiziranja podatkov med posameznimi sistemi močno razlikuje. Vzrok za razlike je lahko že sama zasnova izvajanja analiz, zelo različna so tudi uporabljena orodja in modeli, s pomočjo katerih izbrane podatke obravnavamo. Univerzalnega sistema za upravljanje s premostitvenimi objekti ni, saj so potrebe upravljalcev v posameznih državah različne. Slednje lahko temeljijo na različnih strokovnih odločitvah, integraciji obravnavanega sistema z drugimi že obstoječimi, delno pa jih krojijo tudi različni zakoni, uredbe in pravilniki posameznih držav.

#### 4.2.1 Izvajanje terenskih pregledov

Osnova za analiziranje stanja posameznega premostitvenega objekta kot tudi celotnega fonda objektov je izvedba terenskih pregledov. Glavni nameni izvajanja pregledov mostov so:

- ocena varnosti za uporabo,
- ocena stanja posameznih elementov objekta,
- ocena potreb in strategij vzdrževanja,
- potreba po izvedbi detajlnejšega pregleda,
- zmanjšanje možnost pojava hipne porušitve,
- zadostitev predpisom in standardom.

Možne vrste pregledov so opisane v pregledu literature (poglavje 2.1.2), za potrebe BMS pa večinoma izvajamo le tako imenovane redne in glavne preglede, saj lahko detajlne "in-situ" preiskave, finančno gledano, pomenijo porabo obsežnega dela sredstev namenjenega rednemu in investicijskemu vzdrževanju. Redni pregledi tako pri nas kot tudi v tujini temeljijo izključno na vizualni oceni stanja, medtem ko se v sklopu glavnih pregledov izvajajo tudi enostavne nedestruktivne preiskave, kot so potrkanje površin s kladivom za ugotavljanje odstopanja ometa, sklerometriiranje betona za ugotavljanje njegove tlačne trdnosti in podobno. Na osnovi izkušenj, pridobljenih tekom večletnega izvajanja rednih pregledov objektov na slovenskih državnih cestah in avtocestah, smo prišli do sledečih zaključkov (Gostič in sod., 2011):

- Glavne pomanjkljivosti vizualnega pregleda so:
  - ocena stanja je lahko subjektivna,
  - ne moremo videti notranjih napak in prvih znakov propadanja materiala.
- Glavne prednosti vizualnega pregleda so:
  - tekom pregleda je objekt v uporabi,
  - majhni stroški pregleda,
  - možnost izvajanja pogostih pregledov,
  - enostavnost postopka.

Kakovosten zajem podatkov v sklopu izvajanja pregledov objektov je nujen za korektno izvedbo vseh nadaljnjih korakov, ki jih moramo opraviti v sklopu sistemov za upravljanje s premostitvenimi objekti. Pravilnost rezultatov analiz ter z njimi povezano sprejemanje končnih odločitev o izvajanju sanacijskih in drugih ukrepov je neposredno odvisno od pravih vhodnih podatkov, česar se vsi zavedamo. Problem nastane pri zagotavljanju kakovostnega zajema, ki zajema vsaj usposobljenost ocenjevalcev, dosledno upoštevanje pravilnikov za oceno stanj in ustrezen način izvedbe pregleda. Več avtorjev je skušalo na



različne načine zagotoviti ali vsaj povečati zanesljivost podatkov (npr. Alexander, 2009, Hearn, 2009, Sheils in sod., 2009), vendar splošne rešitve za odpravo problematike ni. Kakovost zajema lahko neposredno preverimo le s kontrolnim pregledom, ki ga izvedemo na enak način kot primarnega, kar pa je zamudno in podraži celoten proces, zato se v praksi ne izvaja (Sousa in sod., 2009). Kakovost zajema podatkov na terenu se v večini držav tako zagotavlja predvsem z začetnim usposabljanjem pregledovalcev in kasneje s periodičnim preverjanjem njihovega znanja in natančnosti dela (Everett in sod., 2008).

Izvajanje rednih in glavnih pregledov premostitvenih objektov ima v RS dolgoletno prakso, že vrsto let pa jih izvajajo ista podjetja in večinoma isti pregledovalci. Ti so strokovnjaki na obravnavanem področju, v letih dela pa so pridobili tudi bogate izkušnje. Problem lahko nastane v primerih, ko objekte pregledujejo novi in s tem manj izkušeni pregledovalci. Formalnega izobraževanja povezanega z izvedbami pregledov v RS nimamo, pogoj za pridobitev naziva pregledovalca pa je najmanj visokošolska izobrazba gradbene smeri, strokovni izpit in določeno obdobje dela kot pomočnik pregledovalca. S tem je sicer zagotovljena osnovna strokovna usposobljenost pregledovalcev, ki prepreči morebitne večje nepravilnosti pri oceni nevarnosti in obsega posameznih tipov poškodb, ne more pa zagotoviti kakovostnega zajema podatkov, še manj pa poenotenja ocenjevanja enakih poškodb med posameznimi pregledovalci. Hkrati tudi ni predpisan način morebitne kontrole kakovosti podatkov, kar lahko dodatno zmanjša verodostojnost zajetih podatkov.

#### **4.2.2 Določitev obstoječega stanja objektov**

Stanje posameznega objekta se določi na osnovi izvedenega terenskega ogleda. Metodologij določanja stanja je več, nekatere osnovne vrste so bile predstavljene v pregledu literature (poglavje 2.1.2). V osnovi jih delimo na eno in več parametrske ter na opisne in številčne ocene. Opisno oceno stanja uporablja na primer ameriški standard NBIS (poglavje 3.1.1), medtem ko v RS uporabljamo številčno oceno (poglavje 3.2.1), ki je v mednarodni praksi tudi najpogostejša. V sklopu pregleda objekta se ocena stanja navadno poda za njegove posamezne elemente. Te ocene je nato potrebno združiti. Možni načini združevanja so:

- seštevek vrednosti vseh elementov,
- srednja vrednost vseh elementov,
- vrednosti ostanejo razdeljene po posameznih sklopih,
- uporaba uteži za posamezne elemente,
- vrednost najbolj poškodovanega elementa je hkrati tudi ocena stanja objekta.



Za pravilnost sprejemanja končnih odločitev s pomočjo BMS je poleg objektivno izvedenega terenskega pregleda objektov torej nujna tudi pravilna določitev njihovega stanja. Podrobno določanje stanja objektov kot celot ter njihovih posameznih konstrukcijskih sklopov je nujno potrebno praktično v vseh primerih, izjema so le obravnavanja manjših fondov objektov (do nekaj deset), kjer podrobne analize niso nujne za njihovo učinkovito upravljanje. Večje in s tem težje obvladljivo kot je omrežje, bolj smiselno je podrobno obravnavanje njihovega stanja.

Če so ugotovitve terenskih pregledov in iz njih izhajajoče (delne) ocene stanj lahko do določene mere subjektivne, ker jih ni mogoče sistematizirati, imamo pri določanju ocene stanja opraviti z natančno predpisanim sistemom oziroma načinom izračuna. Ta mora kot končni rezultat razvrstiti objekte in njihove posamezne elemente po velikostnem redu, glede na stopnjo njihove poškodovanosti. Najmočneje poškodovani objekti sicer niso nujno tisti, ki so sanacije najbolj potrebni. Prednostni seznam objektov, potrebnih sanacije, oblikujemo šele s pomočjo izvedbe dodatnih analiz, ki nam povedo stopnjo nadaljnjega propadanja, razmerje med stroški in koristmi in podobno.

#### **4.2.3 Analiziranje zajetih podatkov in izbira kriterijev**

Z določitvijo stanja objektov ločimo posamezne objekte glede na stopnjo njihove poškodovanosti, optimizacijo strategije vzdrževanja celotnega fonda objektov pa dosežemo z uporabo različnih vrst analiz in s tem dodatnih kriterijev v BMS. Sistemi imajo v različnih državah vgrajene različne vrste analiz in metod, ki so sposobne napovedovati obnašanje objektov in njihovih posameznih elementov v prihodnosti, ocenjevati stroške predvidenih sanacijskih ukrepov, stroške rednega vzdrževanja in podobno (Woodward in sod., 2001, Adey in sod. 2010).

Osnova za izvedbo strategije izvajanja vzdrževalnih in sanacijskih del je vgradnja predvidenih letnih proračunov upravljalca objektov v sistem za upravljanje. S tem pridobimo podatek o maksimalni višini stroškov, ki jih lahko imamo v posameznem letu z izvajanjem predvidenih del. Izvedena dela morajo imeti pozitivne učinke na nadaljnje stroške tako upravljalcev kot uporabnikov ter tudi družbe kot celote. Glede na dejstvo, da so vplivi izvedenih ukrepov večletni, je smotno upoštevati oziroma določiti tudi diskontne stopnje, po katerih se bodo ti vplivi, ki se odražajo v zmanjšanju stroškov, prevedli na njihovo neto sedanjo vrednost.

Za oceno tako stroškov kot tudi koristi, do katerih naj bi predvidoma prišlo v prihodnosti,

potrebujemo metode napovedovanja prihodnjih stanj. Starejše metode so večinoma deterministične, v zadnjem času pa se vsaj na teoretični ravni v sisteme za upravljanje vključujejo tudi metode nevronske mreže, genetskih algoritmov, optimizacije s kolonijami mravelj in podobno (Žnidarič, 1995, Tokdemir in sod., 2000, Vassie in Anderson, 2005, Furuta, 2006, Elbehariy, 2007). Navedeni viri ugotavljajo, da tudi z uporabo naprednih metod napovedovanje prihodnjih dogodkov ostaja izziv, zato na tem področju ostaja odprtih še veliko možnosti za napredek.

Glede na to, da je cilj BMS med različnimi alternativnimi rešitvami poiskati optimalno strategijo vzdrževanja fonda objektov, mora imeti sistem vgrajen tudi primeren način odločanja. Avtorji se najpogosteje odločajo za analizo življenjskih stroškov (LCC) (Hegazy in sod., 2004, Elbehairy, 2007, El-Fatah Safi, 2009 in drugi), medtem ko je analiza stroškov in koristi (ang. Cost Benefit Analysis – CBA) kljub nekaterim prednostim uporabljena redkeje, v praksi jo denimo uporabljajo le v Veliki Britaniji (Godart in Vassie, 1999, Stratt, 2010). Poleg navedenih vrst analiz se lahko kot načini odločanja uporabljajo tudi druge analize in sistemi, kot na primer večparametrsko modeliranje z metodo MAUT (Dabous in Alkass, 2010). Od uporabljenih analiz je odvisna vrsta in število upoštevanih kriterijev v sklopu posameznega BMS.

#### **4.2.4 Odločanje**

Najpogostejše merilo, na podlagi katerega se upravljalec lahko objektivno odloči o izvajanju ukrepov, je ocena stopnje poškodovanosti objektov. Pomemben dejavnik je tudi izkoriščenost vloženih finančnih sredstev, ki jo ocenimo s pomočjo analize stroškov in koristi. V kolikor želi upravljalec iskati rešitev, ki prispeva k trajnostnemu razvoju, lahko uporablja sistem, v katerem k odločitvi prispevajo tudi poraba energije, izpusti CO<sub>2</sub> in drugih plinov. Dejansko pa večkrat vplivajo na sprejemanje odločitev različni subjektivni dejavniki, ki s stroko in iskanjem najustreznejše rešitve nimajo veliko skupnega. Tako imajo na sprejemanje odločitev lahko vpliv vlade, lokalna politika ali industrija, redkeje pa tudi uporabniki, interesna združenja, potrebna projektna dokumentacija in z njo povezana dovoljenja in podobno. V navedenih primerih gre sicer bolj za določene zahteve s strani navedenih deležnikov kot za merila, ki jih ob iskanju rešitev moramo upoštevati.

Pri obstoječih sistemih za upravljanje se uporabljata dva temeljna načina odločanja. Prvi način temelji izključno na strokovnih inženirskih merilih. V tem primeru se v največji meri upoštevata stopnja poškodovanosti in nosilnost premostitvenih objektov, dodatno pa tudi povprečni promet, možnost obvoza, potresno tveganje in možnost odpravljanja obstoječih

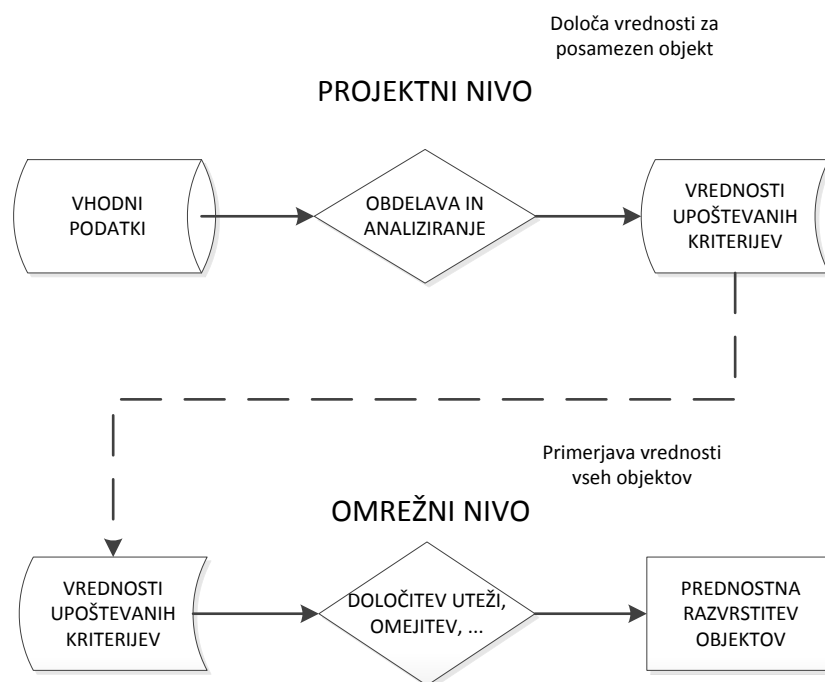
pomanjkljivosti, kot so na primer premajhne vertikalne odprtine. Primeri tovrstnih načinov odločanja so prikazani v pregledu literature na slikah 2.6 in 2.17.

Drugi temeljni način je integracija inženirskih in ekonomskih meril, ki vodi k temu, da se v sklopu spremljanja odločitev upoštevajo tudi stroški. Ti so v splošnem razčlenjeni na posamezne subjekte (slika 2.7), vendar se v večini primerov v sklopu BMS-jev upoštevajo le stroški upravljalca (slika 2.8), kar pogosto ne odraža zahtev vseh uporabnikov. Primer integracije inženirskih in ekonomskih meril, ki ga predlagajo Hegazy in sodelavci (2004), je prikazan na sliki 2.10. V tem primeru gre za hkratno upoštevanje stanja objektov, stroškov njihove sanacije oziroma zamenjave ter stopnje izboljšanja njihovega stanja, kot posledice izvedbe ukrepov. Prikazani sistem v fazi optimiziranja odločitev upošteva tudi več omejitev, ki jih v praksi ne moremo zaobiti.

### **4.3 ZASNOVA PREDLAGANEGA ODLOČITVENEGA SISTEMA**

V literaturi lahko najdemo raznovrstne predloge sistemov upravljanja s premostitvenimi objekti, ki jih v osnovi lahko ločimo na praktične in teoretične modele (Woodward in sod., 2001). Pri slednjih gre predvsem za upoštevanje postavk ali kriterijev, ki jim v praksi numerično ne moremo zadovoljivo določiti vrednosti ali za upoštevanje velikega števila kriterijev in omejitev, ki bi v praksi pomenile bodisi izjemno veliko količino potrebnih vhodnih podatkov bodisi za prakso nesprejemljivo velik obseg analiz. V drugih pogledih se po strukturi teoretični modeli ne razlikujejo bistveno od modelov, ki se uporabljajo v praksi.

Sistem za upravljanje, ki je predmet obravnave, bo imel podobno kot večina novejših sistemov v tujini, proces analize podatkov deljen na projektni in omrežni nivo (Pontis Update, 2010, BAST, 2012a). Na projektnem nivoju analiziramo posamezen premostitveni objekt, ki obsega zajem podatkov, njihovo obdelavo in določitev vrednosti posameznih kriterijev. Slednji nam služijo kot vhodni podatki za omrežni nivo, ki obravnava in med seboj primerja poljubno število objektov. Na omrežnem nivoju je potrebno storiti eno izmed sledečih potez; a) vsem upoštevanim kriterijem določiti relativno medsebojno pomembnost ali jih hierarhično razporediti, b) jih upoštevati kot enakovredne in medsebojno neodvisne kriterije ali c) pri iskanju rešitev obravnavati le en kriterij, ostale kriterije pa upoštevati kot omejitve. Kot končni rezultat izvedbe enega izmed navedenih procesov dobimo prednostno razvrstitev objektov, ki so potrebni sanacijskih ukrepov (slika 4.1).



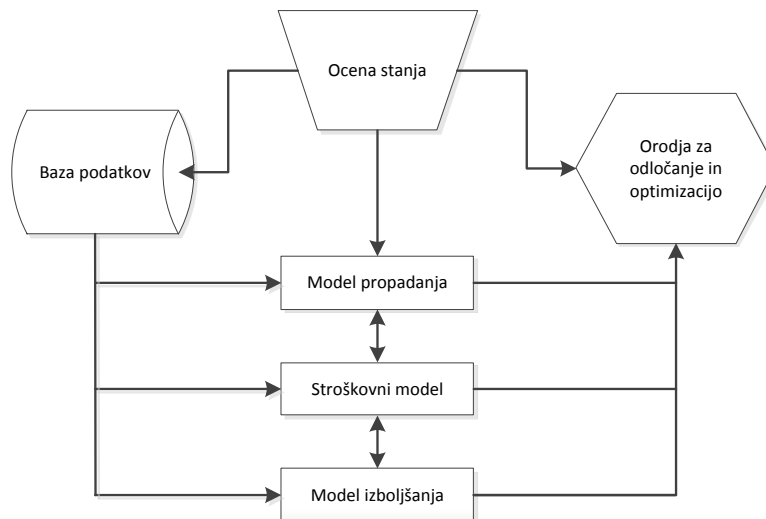
Slika 4.1: Struktura predlaganega odločitvenega sistema

Figure 4.1: Framework for the proposed decision-making system

Pri razvoju sistema je potrebno najprej določiti kriterije, na katerih bodo slonele odločitve, povezane z določitvijo prednostnega seznama objektov, potrebnih obnove. Vrednosti za te kriterije se bodo za vsak objekt določale na osnovi izdelanega sistema za upravljanje z objekti (BMS) na projektnem nivoju. Sledila bo izdelava omrežnega nivoja sistema, ki mora vsebovati primeren način združevanja vrednosti izbranih kriterijev za posamezen objekt v končno oceno. Zadnji korak v razvoju omrežnega nivoja sistema bo izdelava postopka izdelave prednostnega seznama objektov, potrebnih sanacije. Postopek bo primerjal ocene posameznih objektov in skupaj s predhodnimi koraki tvoril zaključeno celoto sistema za upravljanje s premostitvenimi objekti.

#### 4.3.1 Izbira kriterijev

Pregledi premostitvenih objektov in zajem podatkov predstavljajo osnovo za vsak BMS, izbira kriterijev, s katerimi bomo analizirali in vrednotili zajete podatke, pa se med posameznimi BMS močno razlikuje. Ameriško združenje za državne avtocestne in prometne uradnike (AASHTO) je že pred leti predlagalo, da mora BMS vsebovati vsaj naslednje komponente za pomoč pri odločanju; oceno stanja, model simulacije propadanja, stroškovni model in model izboljšanja (slika 4.2).



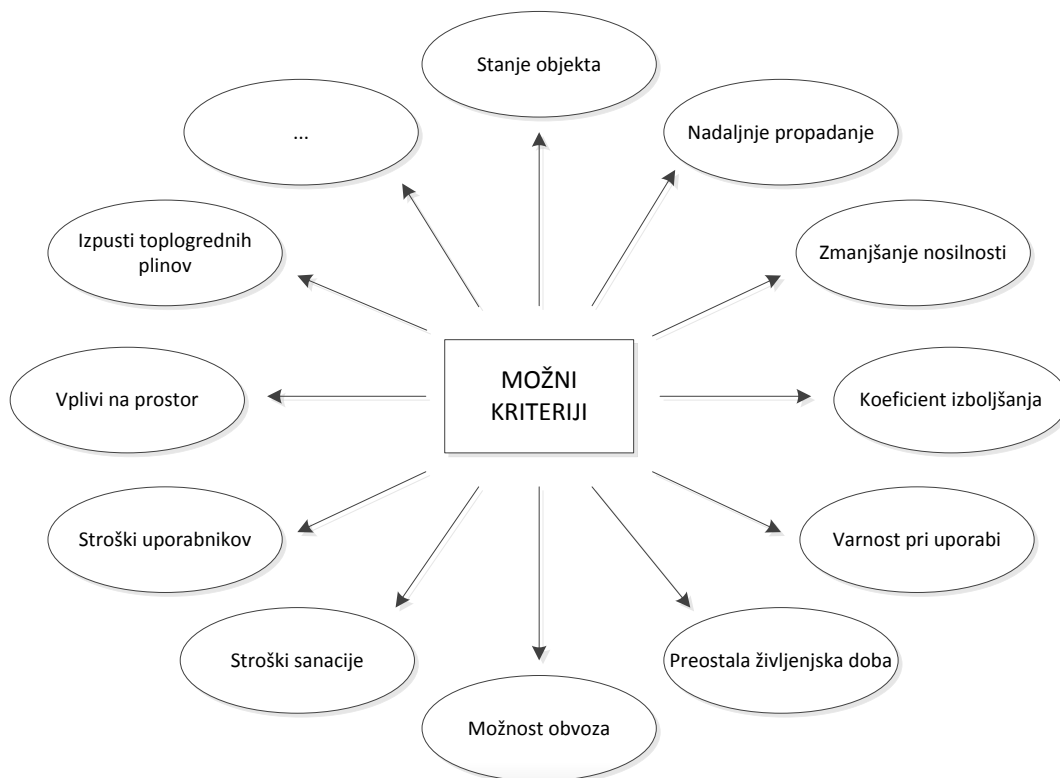
Slika 4.2: Predlog osnovnih komponent BMS (AASHTO, 2001)

Figure 4.2: BMS basic components proposal (AASHTO, 2001)

Vgradnja morebitnih dodatnih komponent oziroma kriterijev za pomoč pri odločanju lahko v primeru kakovostnih vhodnih podatkov pripomore pri iskanju boljših rešitev, v primeru nezanesljivih vhodnih podatkov pa so lahko rezultati uporabe sistemov, ki uporabljajo večje število uporabljenih kriterijev, celo slabši, kot bi jih dobili z uporabo enostavnih sistemov odločanja. Nadalje se moramo zavedati, da so lahko nekateri kriteriji medsebojno tudi odvisni, kot na primer možnost obvoza, stroški uporabnikov in izpusti toplogrednih plinov. V kolikor v procesu odločanja uporabimo vse tri navedene kriterije, ima zaprtje objekta za promet večji vpliv na odločitev o pristopu k sanaciji, kot bi ga imelo v primeru upoštevanja le enega od navedenih kriterijev.

Glede na obravnavano problematiko razdelimo kriterije, ki bi jih lahko potencialno uporabili (slika 4.3), v tri temeljne skupine:

- tehnični kriteriji (stanje objektov, nadaljnje propadanje, varnost pri uporabi, zmanjšanje nosilnosti, možnost obvoza ...),
- ekonomski kriteriji (stroški sanacije, stroški uporabnikov, drugi stroški),
- okoljevarstveni kriteriji (količina izpustov toplogrednih plinov, vplivi na prostor).



Slika 4.3: Možni kriteriji v sklopu BMS

Figure 4.3: Possible criteria within BMS

Oprelitev vrednosti nekaterih navedenih kriterijev je dokaj trivialna, pri drugih je zahtevna, pri nekaterih pa obstaja celo nevarnost namerne ali nenamerne določitve subjektivnih meril za oceno vrednosti kriterijev. Tako je na primer možno relativno enostavno opredeliti dolžine obvozov ali stroške sanacije, bistveno bolj zahtevno pa je določiti vrednost osnovnega kriterija v sklopu BMS, to je določitev obstoječega stanja objektov. Pri navedenem kriteriju lahko za določitev njegove vrednosti upoštevamo le največjo poškodbo na objektu, vsoto vrednosti vseh poškodb, povprečno stanje elementov objekta ali kombinacijo več izračunov. Natančneje je kriterij obravnavan v nadaljevanju. Do subjektivne ali vsaj potencialno netočne ocene pa lahko pride pri določanju vrednosti kriterijem, kot sta vplivi na prostor in izpusti toplogrednih plinov. Pri slednjem bi poleg dnevnega števila vozil potrebovali tudi podatke o sestavi prometnih vozil glede na njihove izpuste v odstotkih ter povprečne hitrosti voženj. Tovrstna določitev vrednosti kriterija je tehnično gledano izvedljiva, v kolikor bi imeli na razpolago potrebne podatke, ki jih za celotno število premostitvenih objektov v državi nimamo.

Oceno objekta glede na kriterij določanja zmanjšanja nosilnosti je mogoče natančno določiti, vendar ga izključno na podlagi vizualnih pregledov ne moremo zadovoljivo oceniti, temveč potrebujemo izvedbo dodatnih meritev, kot je na primer Weigh-in-motion (Žnidarič, 1996,

O'Brien in sod., 2013). Gre za merjenje dejanske obtežbe prometnega toka prek posameznega objekta, v sklopu meritve pa beležimo tudi trenutne deformacije ali pomike objekta, ki nastajajo kot posledica teh tokov. Izvedba tovrstnih meritev ni poceni, zato metoda ni primerna za integriranje v BMS, katerega namen je hitro in stroškovno učinkovito določanje stanja vseh objektov v omrežju.

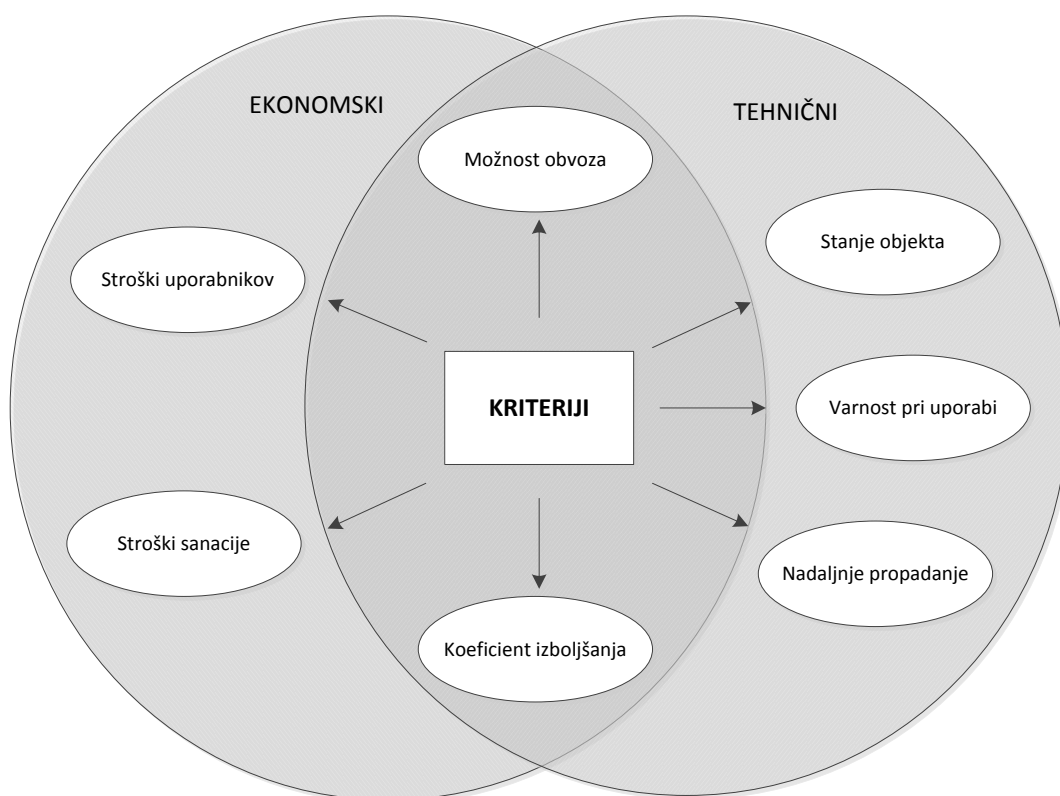
Kriterij preostale življenjske dobe je na teoretični ravni obravnavalo več avtorjev (Godart in Vassie, 1999, Woodward in sod., 2001, Vassie in Anderson, 2006, Padgett in sod., 2010 in podobno), v praksi pa jo je težko opredeliti. Dejansko se za izračune vrednosti tega kriterija večinoma uporablja pričakovana življenjska doba objektov (to je doba, v kateri upravljalec zahteva, da objekt opravlja svojo funkcijo), hkrati pa se glede na njo in hitrost propadanja prilagajajo vzdrževalni in sanacijski ukrepi. V primeru identificiranega prehitrega propadanja objekta se z ustreznimi ukrepi zagotovi, da bo pričakovana življenjska doba objektov dosežena. Glede na dejstvo, da je v RS še vedno v uporabi dokaj veliko število kamnitih mostov (samo na državnih cestah 97, kar predstavlja približno 8% vseh premostitvenih objektov v upravljanju Direkcije za ceste), katerih starost že močno presega pričakovano in jim je posledično težko določiti preostalo življenjsko dobo, vgradnja navedenega kriterija v BMS za območje RS ni primerna.

Zgornja razprava kaže, da uporaba nekaterih kriterijev za slovensko prakso iz različnih razlogov ni primerna, zato predlagamo, da sistem za upravljanje s premostitvenimi objekti za področje RS v sklopu odločanja uporablja sledeče kriterije: obstoječe stanje objekta, varnost pri uporabi, nadaljnje propadanje, stroške sanacije in stroške uporabnikov, možnost obvoza ter koeficient izboljšanja stanja objekta v primeru izvedbe sanacije (slika 4.4). Predlagani kriteriji so razdeljeni v dve temeljni skupini, tehnično in ekonomsko, pri čemer dva kriterija pripadata obema skupinama kriterijev, to sta možnosti obvoza in koeficient izboljšanja. Ugotavljanje možnosti, dolžine in kakovosti obvoznih poti je dejansko povsem tehnične narave, vendar v veliki meri vpliva na ekonomski kriterij stroškov uporabnikov. Tehnične narave je tudi ugotavljanje koeficienta izboljšanja stanja objekta, vendar z njim hkrati oceni tudi učinkovitost stroškov, ki smo jih imeli s sanacijo posameznega objekta.

Poleg predlaganih kriterijev obstajajo še drugi, ki jih nekateri avtorji upoštevajo v svojih teoretičnih ali praktičnih odločitvenih sistemih. Kot primer lahko navedemo faktor pomembnosti mostu (Woodward in sod., 2001, slika 2.5), katerega vrednost določajo kategorija ceste, na kateri objekt stoji, gostota prometa na obravnavanem cestnem odseku, lokacijo objekta in njegova zgodovinska vrednost. V predlaganem sistemu se navedeni kriterij že izraža skozi nekatere upoštevane kriterije, kot sta možnost obvoza in stroški



uporabnikov, zato bi vgrajevanje navedenega kriterija dejansko pomenilo dvojno upoštevanje nekaterih značilnosti obravnavanih premostitvenih objektov. Prekrivata se tudi kriterija vplivi na okolje in izpusti toplogrednih vplivov, pri čemer je slednji eden od vplivov na okolje. Podobnih prekrivanj različnih kriterijev je še nekaj, vendar na tem mestu ne bodo natančneje obravnavani.



Slika 4.4: Izbrani kriteriji za sistem za upravljanje s premostitvenimi objekti v RS

Figure 4.4: Criteria chosen for the bridge management system in RS

### 4.3.2 Struktura projektnega nivoja sistema

Namen projektnega nivoja sistema je skrbna analiza obstoječega stanja posameznega premostitvenega objekta, določitev morebitnih potrebnih sanacijskih ukrepov, ocena stroškov ukrepov in ocena stopnje izboljšanja stanja objekta zaradi izvedenih ukrepov. Analiza je izdelana ločeno od analize za celoten fond objektov. Projektni nivo je, kot je prikazano že na sliki 4.1, sestavljen iz treh osnovnih elementov in sicer vhodnih podatkov, procesov njihove obdelave ter izhodnih podatkov. Vsebina projektnega nivoja je shematsko prikazana na sliki 4.5, v nadaljevanju pa sledi njen opis.

Vhodne podatke projektnega nivoja BMS predstavljajo vsi predhodni pregledi ter testiranja objektov kot tudi podatki iz drugih baz, ki vsebujejo različne informacije o obravnavanih

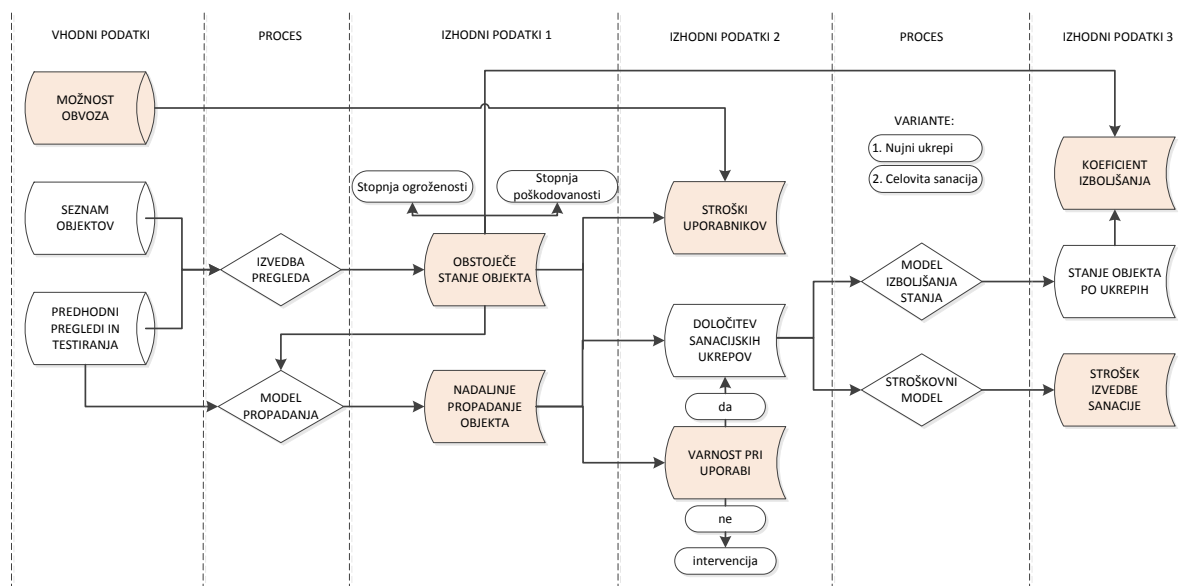


objektih. Po pridobitvi navedenih podatkov se izvede ogled objekta, na podlagi katerega se določi njegovo *obstoječe stanje*, ki predstavlja prvega izmed izbranih kriterijev predlaganega sistema za upravljanje. Pri oceni stanja ločimo stopnjo ogroženosti in stopnjo poškodovanosti objekta. Prva nam poda informacijo o morebitnih hujših poškodbah, ki lahko ogrožajo nosilnost ali stabilnost objekta, stopnja poškodovanosti pa poda informacijo o obsegu vseh poškodb, ki smo jih na posameznem objektu evidentirali. Na podlagi primerjave podatkov o obstoječem stanju in podatkov predhodnih pregledov s pomočjo modela propadanja določimo *hitrost nadaljnjega propadanja* objekta kot celote in njegovih posameznih konstrukcijskih sklopov, kar predstavlja drugega izmed izbranih kriterijev. Kriterij obravnava dogovorjeno število let, kot je podrobneje opredeljeno v nadaljevanju v poglavju 5.2.

Na podlagi ugotovljenega stanja na terenu pregledovalec določi vrednost kriterija *varnost pri uporabi* za obstoječe stanje in prihodnja stanja objekta. Varnost se tekom rednih in glavnih pregledov določi na podlagi izkušenj pregledovalca in njegove vizualne ocene, saj detajlnih preiskav tekom navedenih pregledov ne izvajamo. V kolikor varnost v obdobju do izvedbe naslednjega pregleda po oceni pregledovalca ni zagotovljena, je to potrebno nemudoma javiti pristojnim in pristopiti vsaj k sanaciji tistih elementov objekta, katerih poškodbe pomenijo nevarnost za uporabnike. V tovrstnih primerih čakanje na končne analize sistema za upravljanje ni dopustno. Pregledi objektov se namreč izvajajo skozi večji del leta, zato je analiziranje in primerjavo vseh premostitvenih objektov možno izvesti šele ob koncu leta, kar je lahko prepozno. Objektov, ki varnosti pri uporabi nimajo zagotovljene, ne obravnavamo na omrežnem nivoju, temveč bodo na tem nivoju analizirani šele ob naslednjem pregledu.

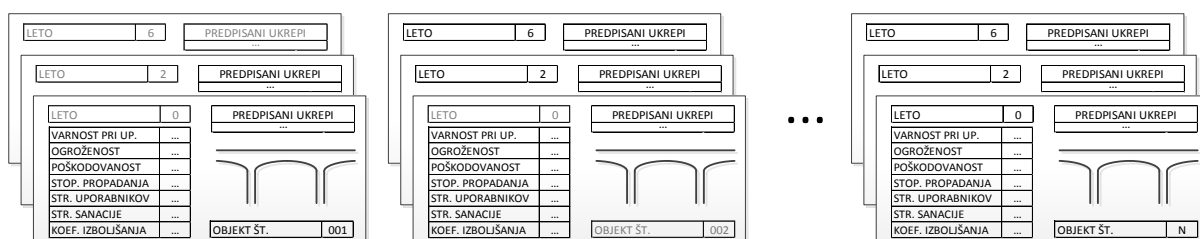
Vrednost kriterija, ki obravnava *stroške uporabnikov*, določamo glede na gostoto prometa in možnost obvoza za uporabnike. Kriterij lahko v primeru daljših obvoznih poti ali velikih prometnih obremenitev predstavlja pomemben element odločanja o pristopu k sanaciji objekta. Potrebni sanacijski ukrepi se določijo na podlagi podatkov o trenutnem stanju objekta in njegovem nadaljnjem propadanju. Pri njihovem določanju imamo običajno na razpolago več variantnih rešitev, določiti pa moramo tudi čas, v katerem naj bi se posamezni ukrepi izvedli. Ni namreč nujno, da se vsi ukrepi izvajajo naenkrat, čeprav je to pogosto najbolj racionalna rešitev, saj moramo v nasprotnem primeru prometno signalizacijo, zaporo ceste, pripravo gradbišča in podobno izvajati večkrat. Lahko pa se zgodi, da je nekatere ukrepe potrebno izvesti takoj in hkrati ne zahtevajo obsežnejših pripravljalnih del (na primer nadomestitev dotrajane ograje na hodnikih), medtem ko lahko druge ukrepe (na primer popravilo zaščitnega sloja betona na robnem vencu) brez večje nevarnosti za trajnost objekta izvedemo šele čez nekaj let. Na podlagi predpisanih ukrepov se s pomočjo stroškovnega modela določijo predvideni *stroški sanacije* za posamezno leto, s pomočjo

modela izboljšanja stanja pa se določi stanje objekta po izvedenih ukrepih. To se primerja z obstoječim stanjem, s čimer dobimo *koeficient izboljšanja stanja* objekta zaradi izvedenih ukrepov. Koeficient izboljšanja stanja in predvideni stroški sanacije so podatki, na podlagi katerih v nadaljevanju določimo razmerje med stroški in koristmi, kar podrobneje obravnavamo v poglavjih 5.6 in 5.7. Postopek se izvede za vse predvidene variantne rešitve.



Slika 4.5: Struktura projektnega nivoja BMS  
 Figure 4.5: Framework of project level BMS

Opisani proces se izvede za vsakega izmed premostitvenih objektov v posameznem obravnavanem omrežju. Rezultat procesa so izhodni podatki, ki za vsak objekt prikažejo vrednosti kriterijev in potrebne sanacijske ukrepe za izbrano število let (slika 4.6). Natančna struktura izhodnih podatkov in njihova uporaba je prikazana v nadaljevanju. Z namenom optimiziranja upravljanja celotnega omrežja objektov, je v naslednjem koraku podatke vseh objektov potrebno primerjati in jih nato na podlagi dogovorjenih kriterijev razvrstiti glede na njihovo potrebo po obnovi. Za objektivno izvedbo razvrstitve je potrebno izdelati večkriterijski odločitveni model, ki ga bo zajel omrežni nivo predlaganega sistema za upravljanje.



Slika 4.6: Izhodni podatki projektnega nivoja BMS  
 Figure 4.6: Data output of project level BMS

### 4.3.3 Struktura omrežnega nivoja sistema

Cilj doktorskega dela je razvoj BMS, ki ga bo mogoče uporabiti na izbranih cestnih omrežjih v RS, zato je v njegovem razvoju smiselno upoštevati določene delovne protokole, ki se na področju premostitvenih objektov že izvajajo ali so zanje specifični. Pri nadaljnji izdelavi sistema za upravljanje upoštevamo sledeča dejstva, ki so del obstoječega upravljanja s premostitvenimi objekti na državnih cestah v RS:

- Način izvajanja terenskih pregledov objektov je predpisan.
- Vrednosti faktorjev za pomembnost elementov, vrste poškodb in obseg poškodb so predpisane in ustrezne.
- Pregledi objektov se izvajajo redno vsaki dve leti.
- Zajeti podatki se ne kontrolirajo, posledično njihova kakovost ni zagotovljena.
- Finančna sredstva so omejena.

Cilj omrežnega nivoja odločanja je zagotavljanje najvišjega možnega stanja omrežja glede na razpoložljiva sredstva, pri čemer moramo pri iskanju rešitev za doseg tega cilja v določenem obsegu upoštevati tudi stroške uporabnikov, za katere želimo, da so čim manjši.

#### 4.3.3.1 Integracija delov obstoječe metodologije

Uporaba obstoječih uteži za določanje pomembnosti elementov, vrst in obsega poškodb ter obstoječega načina izvajanja terenskih vizualnih pregledov v novem BMS je pravzaprav nujna, v kolikor želimo neposredno primerjati aktualno pridobljene podatke s tistimi, ki so bili zajeti v preteklih letih. V nasprotnem primeru bi morali, poleg izdelave nove metodologije pregledov in določanja uteži, ustrezno prilagoditi vrednosti vseh v preteklih letih zajetih podatkov, ki so bili ovrednoteni s staro metodologijo, z novim načinom vrednotenja. Pri tem bi obstajala nevarnost, da določenih vrednosti ne bi mogli prilagoditi novemu sistemu brez vsaj manjših izgub kakovosti podatkov. Na podlagi izkušenj, pridobljenih s pregledovanjem objektov sodimo, da so obstoječi načini izvajanja pregledov ter uporabljene vrednosti uteži še vedno primerne za uporabo, medtem ko je z današnjega stališča neustrezna oziroma zastarela metodologija določanja poškodovanosti objekta in s tem prednostne obravnave objektov. Ta pri izdelavi prednostnih seznamov ne upošteva hitrosti nastajanja novih in večanja obstoječih poškodb, morebitnega vpliva največjih poškodb na nosilnost in trajnost konstrukcije kot celote, pomembnosti objekta za prometno omrežje in podobno. V obstoječi obliki metodologija upošteva le tako imenovan rating poškodovanosti posameznega objekta, katerega izračun je predstavljen v poglavju 3.2.1.

Pregledi objektov se v RS izvajajo vsaki dve leti, kar je bolj pogosto od povprečja drugih držav Evropske unije, vendar ima to poleg nekoliko višjega letnega stroška tudi določene prednosti. Kot je bilo opisano v poglavju 4.2.1, so lahko v posameznih letih zajeti podatki nekoliko slabše kakovosti. Zmerna napaka v določitvi obstoječega stanja rezultira v napaki pri prognozi prihodnjih stanj, pri čemer se ta napaka z leti povečuje. Nastanek napake pri prognozi lahko omilimo z uporabo relativno kratke dobe med dvema zaporednima pregledoma.

V primeru pogostih zajemov lahko manj kakovostnim podatkom s pomočjo statistične obdelave zmanjšamo tudi vpliv na končne odločitve, česar denimo v primeru pregledov s petletnimi intervali ne bi mogli izvesti. V slednjem primeru bi morale projekcije nadaljnega propadanja objektov gotovo v bistveno večji meri upoštevati tudi nezanesljivost uporabljenih podatkov. Hkrati bi projekcija prihodnjih stanj veljala za vsaj petletno obdobje, kar bi lahko v zadnjem letu projekcije pomenilo že bistveno odstopanje od dejanskega stanja. V našem primeru je minimalna dolžina projekcije pred pridobitvijo novih podatkov le dve leti, s čimer pomanjkljivo kontrolo kakovosti podatkov nadomestimo z bolj pogostim odvzemom podatkov.

#### **4.3.3.2 Vgradnja izbranih kriterijev v omrežni nivo**

Če želimo izdelati prednostni seznam objektov, ki so potrebni sanacije, moramo najprej za vsak objekt vrednosti v poglavju 4.3.1 izbranih kriterijev združiti v skupno oceno, nato pa ocene posameznih objektov ustrezno primerjati na omrežnem nivoju. Predlagani BMS vključuje sedem kriterijev, katerih izbiro smo utemeljili v poglavju 4.3.1. Pri tem se kriterij varnosti pri uporabi obravnava izključno na projektnem nivoju, medtem ko ostalih šest obravnavamo tudi na omrežnem nivoju. Kriterije lahko razdelimo na tehnične in ekonomske. Med tehnične uvrščamo obstoječe stanje objekta (opišemo ga s stopnjo poškodovanosti in stopnjo ogroženosti objekta) in njegovo nadaljnje propadanje, med ekonomske pa stroške sanacije, koeficient izboljšanja stanja kot posledica izvedbe sanacije ter stroške uporabnikov, ki so med drugim neposredno odvisni od možnosti obvoznih poti, ki predstavlja zadnjega izmed upoštevanih kriterijev.

Izbrane kriterije opisujemo z različnimi enotami, zato njihovih vrednosti ni mogoče neposredno sešteti, temveč jih moramo združiti v enotno vrednost drugače. Ena od možnosti je metoda utežene vsote. Kriterije tehničnega vidika, ki ga sestavljajo stopnja ogroženosti, stopnja poškodovanosti in ocena nadaljnega propadanja, lahko brez večjih težav združimo z določitvijo njihovih relativnih pomembnosti oz. uteži. Kriteriji ekonomskega vidika so deljeni

na stroške uporabnikov in stroške upravljalca. Stroška ne nastopita hkrati, zato ju moramo obravnavati ločeno. Strošek izvedbe sanacije (ki je strošek upravljalca) nastopi enkrat in sicer v času izvedbe predpisanih del, pri čemer lahko ekonomičnost izvedbe del ob upoštevanju koeficienta izboljšanja preverimo z analizo stroškov in koristi. Stroški uporabnikov pa se pojavijo ravno v primeru, ko predvidenih sanacijskih del ne izvedemo, torej stroškov upravljalca ni, objekt pa zaradi poškodovanosti ni več primeren ali je le delno primeren za uporabo. Posledično morajo uporabniki uporabiti obvoze, kar jim predstavlja strošek. Ti stroški se pojavljajo vse do izvedbe predpisanih sanacijskih del.

Ker se nanašata na varnost objektov in njihovih uporabnikov, morata imeti največji vpliv na razvrščanje objektov, glede na potrebo po sanaciji, oba tehnična kriterija. Na ta način bomo zagotovili, da strokovni vidiki potrebe po sanaciji prevladajo nad finančnimi, čeprav moramo tudi slednje upoštevati do neke dogovorjene meje. Eden izmed ekonomskih vidikov, ki mora imeti vpliv na razvrščanje objektov, je strošek uporabnikov in z njimi povezana možnost obvoza. Pri tem moramo zagotoviti, da se bo njegov vpliv na končno razvrstitev objektov večal šele z večanjem poškodovanosti posameznega objekta, torej skladno z naraščanjem nevarnosti, da do povečanih stroškov uporabnikov dejansko pride. V primeru upoštevanja nespremenljive vrednosti kriterija bi se namreč lahko zgodilo, da bi bili manj poškodovani objekti z veliko gostoto prometa na prednostnem seznamu uvrščeni pred močno poškodovanimi z majhno prometno obremenitvijo. Slednji posledično nikoli ne bi prišli dovolj visoko na prednostni lestvici za sanacijo, kar bi dolgoročno vodilo k njihovi porušitvi. Kriterija stroškov sanacije in koeficienta izboljšanja po našem mnenju ne smeta vplivati na razvrstitev objektov na prednostni listi, morata pa na izbiro sanacijskih ukrepov pri njihovi obnovi in s tem zagotoviti optimizacijo porabe finančnih sredstev.

### **4.3.3.3 Določanje prednostnega seznama**

#### **4.3.3.3.1 Metode izdelave prednostnih seznamov**

Za določanje prioritet je na voljo več metod: izdelava prednostnih seznamov, CBA analiza, matematična optimizacija in metode umetne inteligence (Žnidarič, 1995, Morcous, 2002, Liu in Frangopol, 2005, Hallberg in Racutanu, 2006, El-Fatah Safi, 2009, Dabous in Alkas, 2010).

Najbolj pogosta je uporaba prednostnih seznamov, saj ponuja široko paleto možnosti. V preteklosti je bilo pri izdelavi list kot kriterij najbolj pogosto upoštevano izključno *obstoječe stanje* objektov, saj je bil to najbolj pregleden in objektivni način razvrščanja, vendar je

njegova uporaba pokazala, da ni bil optimalen zaradi neupoštevanja drugih dejavnikov, ki so opisani v nadaljevanju. Posledično so mu odločevalci dodali *faktor pomembnosti* objektov, ki je upošteval pomembnost posameznega objekta za celotno omrežje objektov, pri čemer se je upoštevalo predvsem, na cesti katere kategorije objekt stoji. V RS se denimo ceste skladno z Zakonom o cestah (ZCes-1, 2010) delijo na: avtoceste, hitre ceste, glavne ceste, regionalne ceste, lokalne ceste in javne poti. V naštetem vrstnem redu pada tudi njihova pomembnost. Namesto faktorja pomembnosti je lahko upoštevan tudi *faktor pomanjkljivosti* objekta, kjer so sanacije prej deležni objekti, ki imajo poleg poškodb tudi pomanjkljivosti v obliki nezadostne nosilnosti za nove prometne obtežbe, premajhne širine voznih pasov, v primerih podvozov premajhne svetle višine in podobno. Repertoar izbire dodatnih faktorjev je širok, njihova uporaba pa je odvisna od razpoložljivih podatkov in želja upravljalca. Navedene tehnike dajejo v povprečju dobre rešitve, vendar ne optimalnih (Mohamed, 1995).

Uporaba CBA analize je v inženirstvu pogosto uporabljeno orodje za iskanje optimalnih rešitev, zato je njena redka uporaba (vsaj glede na pregledano literaturo) v sklopu BMS presenetljiva. Možnosti uporabe so široke, od iskanja najboljših sanacijskih rešitev na projektnem nivoju sistema, oceno koristi v prihodnosti zaradi izvedenih ukrepov v sedanosti na projektnem ali omrežnem nivoju, primerjave koristnosti različnih pristopov pri odločanju in drugih primerjav. Kljub temu so nekateri avtorji mnenja, da njena uporaba ni primerna, saj ne omogoča optimalne porabe finančnih virov na omrežnem nivoju (Mohamed, 1995) oziroma lahko daje dobre rezultate le pri analiziranju manjših omrežij (Elbehairy, 2007). Pri tem velja opozoriti, da oba avtorja predvidevata, da se analiza uporablja na projektnem nivoju in s tem optimizira sanacijske ukrepe za posamezen objekt brez upoštevanja omejenih finančnih virov na omrežnem nivoju. V primeru uporabe takšnih modelov v praksi se lahko zgodi, da so optimalne rešitve najbolj poškodovanih objektov drage, razpoložljiva finančna sredstva hitro izčrpana, saniranih pa je le manjše število objektov.

Uporabo, prednosti in slabosti matematične optimizacije sta v več prispevkih obravnavala Liu in Frangopol (2005, 2006a, 2006b). Prednosti uporabe so med drugim možnost uporabe več nasprotujočih si kriterijev in njihove integracije v multikriterijsko optimizacijo, slabost pa možnost analiziranja le manjših omrežij. Različne metode umetne inteligence so uporabne v širokem spektru tehničnih področij, na področju odločanja pri upravljanja s premostitvenimi objekti pa se v zadnjem obdobju uporabljajo genetski algoritmi. To metodo smo obravnavali že v pregledu literature (poglavje 2.1.4), kjer so navedene prednosti in slabosti metode, podrobneje pa uporabo genetskih algoritmov obravnava Elbehairy (2007).

Med opisanimi metodami določanja prednostnih seznamov ni metode, katere uporaba bi bila

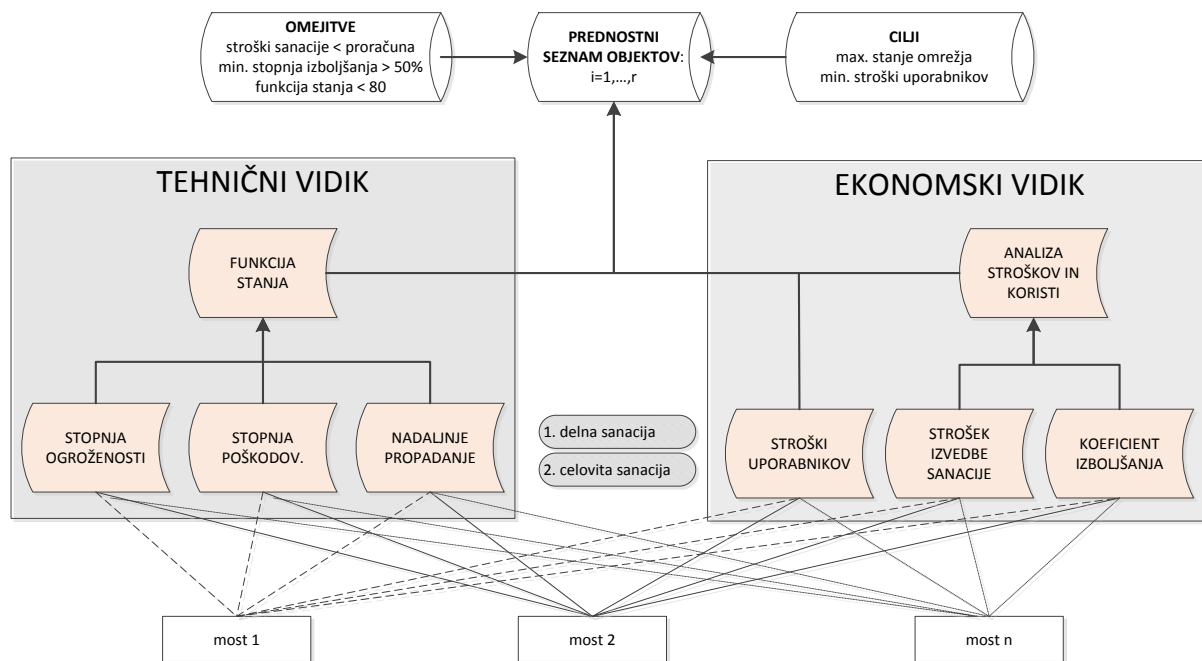


najboljša za vsa omrežja premostitvenih objektov, podobno kot ne obstaja vrsta mostu, ki bi bila najprimernejša za premostitev vseh velikosti vodotokov. Primernost uporabe vsake izmed metod odločanja je odvisna od velikosti obravnavanih omrežij, razpoložljivih podatkov, prioritete upravljalca in podobno.

#### **4.3.3.3.2 Uporabljena metoda**

V omrežni nivo odločanja smo se odločili integrirati več metod. Osnovo za izdelavo prednostnega seznama bo tvoril popis obstoječega stanja objektov (s katerim določimo stopnjo poškodovanosti in stopnjo ogroženosti) ter hitrost njihovega nadaljnega propadanja, kar sta osnovna kriterija odločanja vseh novejših BMS. Skupno vrednost izbranih kriterijev za posamezen objekt bomo določili s pomočjo uvedbe funkcije stanja. V sistem bo integriran tudi faktor pomembnosti objekta, ki pa ne bo določen s stališča kategorije ceste, na kateri objekt stoji, temveč s stališča njegove pomembnosti za uporabnike. S tem imamo v mislih stroške uporabnikov v primeru prometnih zapor objektov in posledični uporabi obvoznih poti. V tem primeru je lahko zelo pomemben tudi objekt na cesti nižje kategorije, če prek njega poteka zgoščen promet in je obvozna pot dokaj dolga.

Z namenom optimizacije porabe finančnih sredstev bo v omrežni nivo odločanja vgrajena poenostavljena analiza stroškov in koristi (CBA). Z njeno vgradnjo v omrežni nivo se bomo izognili največji pomanjkljivosti obstoječih sistemov z vgrajeno CBA, to je neupoštevanju letno razpoložljivih finančnih sredstev. Razmerje med stroški in koristmi bomo določali s pomočjo predhodno določenih stroškov izvedbe posamezne variantne rešitve in koeficientov izboljšanja stanja za posamezno rešitev. Shematski prikaz omrežnega nivoja sistema upravljanja je prikazan na sliki 4.7, podrobneje pa je obravnavan v poglavju 6.1. Pred njegovo obravnavo je namreč potrebno določiti omejitve ter način izračuna vrednosti posameznih kriterijev.



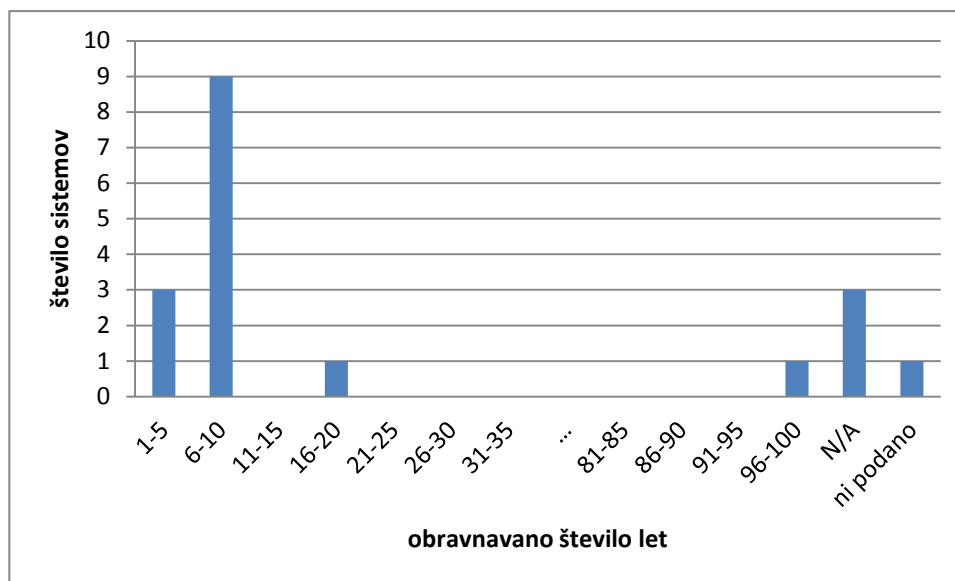
Slika 4.7: Struktura omrežnega nivoja BMS  
 Figure 4.7: Framework for network level BMS

#### 4.3.3.4 Doba analiziranja

Za sistem upravljanja je potrebno določiti časovno obdobje, ki ga bo obravnaval. V tujini uporabljeni sistemi analizirajo različno dolga obdobja, pri čemer se njihov časovni razpon giblje med enim in sto leti. Odločitveni sistemi, ki nimajo vgrajenega modela za opis nadaljnega propadanja objektov, obravnavajo izključno tekoče leto oziroma le obdobje do naslednjega pregleda. Gre za starejše sisteme (mednje spada tudi obstoječi sistem v RS), ki bodo v kratkem nadomeščeni z modernejšimi. V ostalih primerih sistemi večinoma vsebujejo model nadaljnega propadanja, zaradi česar so izvedljive tudi analize za daljša časovna obdobja.

Mednarodno združenje IABMAS (Adey in sod., 2010) je v sklopu pregleda osemnajstih nacionalnih BMS med drugim ugotavljalo dolžino časovnih obdobj, ki jih ti sistemi analizirajo. Večina sistemov analizira časovno obdobje v dolžini šest do deset let, švedski BMS dvajset let, japonski pa kar sto letno obdobje. Trije izmed obravnavanih sistemov ne predvidevajo prihodnjih stanj, uporabniki enega izmed sistemov pa podatka niso posredovali (slika 4.8).





Slika 4.8: Upoštevana časovna obdobja v posameznih BMS (Adey in sod., 2010)

Figure 4.8: Time periods under consideration in various BMS (Adey et al., 2010)

Časovno obdobje med šest in deset let je po našem mnenju najprimernejše tudi za potrebe upravljanja s premostitvenimi objekti v RS, saj daljša doba analiziranja ni smiselna. Razlogov za to je več:

- V RS je dokaj pogost pojav naravnih nesreč (predvsem poplav pa tudi potresov), ki lahko stanje posameznega objekta v enem dnevu bistveno spremenijo.
- Letni proračuni in ocena potrebnih finančnih sredstev za vzdrževanje in sanacijo prometnega omrežja se določata za največ petletno obdobje.
- Zaradi pogostega izvajanja pregledov objektov imamo vsakoletno na razpolago nove podatke in s tem možnost izvajanja novih analiz.

Vsi premostitveni objekti v RS se pregledujejo z dvoletnimi intervali. Ker lahko novo analizo izvedemo po vsakem sklopu opravljenih pregledov, to dejansko pomeni, da imamo v primeru šest letne dobe analiziranja za vsak objekt v vsakem trenutku na razpolago podatke za vsaj petletno obdobje. Ker se tudi letni proračuni upravljalcev premostitvenih objektov ne sprejemajo za več kot petletno obdobje menimo, da je šestletno obdobje analiziranja premostitvenih objektov na območju RS najprimernejša doba.

#### 4.3.4 Omejitve

Uporaba optimizacijskih metod je potrebna v vseh primerih, kjer potrebe presegajo razpoložljiva sredstva. Pred iskanjem optimalnih rešitev pa moramo navadno določiti omejitve, katerih upoštevanje je bodisi nujno za izvedljivost izbranih rešitev bodisi

priporočljivo zaradi večje sprejemljivosti rešitev iz tehničnega, družbenega ali drugega vidika. Pri gradnji in upravljanju z gradbeni objekti na splošno so glavna omejitev najpogosteje razpoložljiva finančna sredstva (proračun), temu pa sledijo omejitve, specifične za posamezno vrsto gradbenih oziroma ožje gledano infrastrukturnih objektov. Pri iskanju optimalnih rešitev za premostitvene objekte večina prispevkov obravnava vsaj omejitev povezano s finančnimi sredstvi, več avtorjev pa obravnava do tri vrste omejitev. Upoštevanje več kot treh vrst omejitev bi po naši in očitno tudi po presoji drugih avtorjev že močno omejilo možnost izvajanja optimizacijskih procesov, saj bi bila večina pozornosti namenjena izpolnjevanju zahtev omejitev.

V okviru projekta BRIME (Godart in Vassie, 1999, Woodward in sod., 2001) so avtorji v sistem za upravljanje kot nujno vključili omejitev povezano s finančnimi sredstvi, kot dodatno omejitev pri izbiri rešitev pa predlagajo uporabo eno izmed treh vrednosti: mejno vrednost verjetnosti porušitve objekta, mejno vrednost stanja objekta ali minimalno stanje objekta ni predpisano. V prvem primeru se, ne glede na ostale kazalce optimizacije, odločimo za sanacijo posameznega objekta, ko verjetnost njegove porušitve preseže dogovorjeno vrednost. Na ta način želijo avtorji, poleg porušitve, preprečiti tudi morebitne večje deformacije objekta in s tem zagotoviti njegovo funkcionalnost skozi celotno predvideno življenjsko dobo. V primeru upoštevanja mejne vrednosti stanja objekta želijo preprečiti prekomerno propadanje, ki vodi v nesorazmerno visoke stroške kasnejših sanacijskih posegov in daljše zapore objekta za promet. Za primer brez predpisanega minimalnega stanja objektov želijo doseči optimizacijo vseh upoštevanih stroškov na ravni omrežja, ne glede na posledice za posamezen objekt.

Sistem za upravljanje s premostitvenimi objekti Kanadske province Ontario vsebuje tri omejitvene pogoje (Thompson in sod., 2003). Prvo omejitev predstavljajo letno razpoložljiva finančna sredstva, drugo razporeditev finančnih sredstev po posameznih konstrukcijskih sklopih objektov (določen je minimalen obseg sredstev za posamezen sklop) in tretjo učinkovitost predvidenih ukrepov. Enake omejitve vsebuje tudi BMS, ki ga uporablja Kanadska provinca Nova Scotia (Speiran in sod., 2004). V sklopu Avtocestnega raziskovalnega programa ZDA so avtorji (Patidar in sod., 2007) ugotovili, da vrste omejitev kot tudi njihovo skupno število niso nujno enolično določene, temveč se lahko sčasoma zaradi spremenjenih srednjeročnih ali dolgoročnih ciljev upravljalca spreminjajo. Vsak sistem za upravljanje je sestavljen iz kriterijev in omejitev. Kriterije, ki nam iz različnih razlogov postanejo izjemno pomembni, lahko uvrstimo med omejitve in jim določimo mejne vrednosti, ki ne smejo biti presežene, medtem ko manj pomembne omejitve lahko postanejo eden izmed kriterijev, ki jih poskušamo zadovoljiti v največji možni meri. Na razpolago imamo torej

neomejeno število kombinacij omejitev, vendar moramo število omejitev in njihove mejne vrednosti primerno določiti, sicer se lahko zgodi, da predlagane rešitve ne bodo izvedljive. Kot najprimernejše omejitve avtorji sicer smatrajo razpoložljiva finančna sredstva, minimalno stanje posameznega objekta in maksimalno dovoljeno ogroženost omrežja. Kaj natančno pomeni ogroženost omrežja avtorji podrobneje ne navajajo.

Elbehairy je v svojem doktorskem delu (Elbehairy, 2007) predvidel več omejitev. Osnovna omejitve so letno razpoložljiva finančna sredstva, temu pa sledijo omejitve, ločene na projektni in omrežni nivo sistema. Omejitve na projektnem nivoju predstavljajo minimalna stanja posameznih elementov in minimalno stanje posameznega objekta. Na nivoju omrežja je zaradi specifik odločitvenega procesa kot omejitev zopet predvideno minimalno stanje posameznega objekta ter minimalno stanje omrežja kot celote. Vrednosti navedenih omejitev niso vnaprej definirane in se lahko vsako leto poljubno spremenijo.

Omejitve, vgrajene v posamezne sisteme za upravljanje s premostitvenimi objekti, se med seboj razlikujejo in so odvisne od upoštevanih kriterijev, velikosti omrežja, starosti omrežja, ciljev upravljalca in podobno. Določanje tako vrst omejitev kot tudi njihovih mejnih vrednosti mora biti premišljeno. Preveč rigorozno določene omejitve močno omejuje možnost optimizacije upravljanja z objekti, medtem ko bi zanemarjanje nekaterih omejitev v sklopu odločanja lahko v skrajnem primeru privedlo do (delnih) porušitev objektov in daljših zapor za promet. Glede na pregledano literaturo menimo, da je za predlagani sistem upravljanja s premostitvenimi objekti na območju RS najprimernejše, da vsebuje sledeče omejitve:

1. letna poraba sredstev je enaka ali manjša letnim proračunom,
2. mejna vrednost funkcije stanja objekta je 80;
3. minimalna stopnja izboljšanja stanja objekta v primeru izvedbe delne sanacije je 50%.

Mejna vrednost porabe finančnih sredstev v višini letnih proračunov je samoumevna in hkrati osnovna omejitev vsakega BMS. Mejna vrednost funkcije stanja objekta, kot novo predlagane oblike ocene obstoječega stanja (natančneje je obravnavana v poglavju 6.1.1), je druga izmed izbranih omejitev. Z vgradnjo obravnavane omejitve želimo v prvi vrsti preprečiti morebitne težje poškodbe ali celo delne porušitve tistih objektov. Sekundarni cilj omejitve je preprečitev nastanka prekomernih deformacij objektov, ki bi vodile v dolgotrajne zapore zaradi zahtevnih sanacijskih del ali celo potrebe po izvedbi nadomestnega objekta. Koeficient izboljšanja in strošek izvedbe obravnavamo kot kriterija, s katerima določamo najboljši način izvedbe sanacij, z njima pa je neposredno povezana omejitev minimalne stopnje izboljšanja. Z njo želimo doseči celovitejši pristop k odpravi poškodb v primerih, kjer bi se kot finančno najugodnejše variantne rešitve izkazale tiste, s katerimi bi popravili le

najnevarnejše poškodbe. To bi namreč pomenilo neke vrste krpanja objektov in bi dolgoročno vodilo v pogostejše zapore.

Za predpisovanje minimalnih obsegov sredstev posameznim konstrukcijskim sklopom objektov (po vzoru kanadskega modela) in upoštevanje v praksi težko ovrednotene ogroženosti omrežja se nismo odločili. V prvem primeru gre po našem mnenju predvsem za politično odločitev upravljalca, medtem ko je ogroženost omrežja nekoliko abstrakten pojem, ki ga avtorji prispevkov v nobenem primeru niso natančno definirali, zaradi česar je objektivno določanje njegove mejne vrednosti težko izvedljivo.

## 5 SESTAVNI DELI PROJEKTNEGA DELA SISTEMA

### 5.1 OCENA OBSTOJEČEGA STANJA

Prvi izhodni podatek po izvedbi vizualnega terenskega ogleda (namen, postopek, prednosti in pomanjkljivosti ogledov so obravnavani v poglavju 4.2.1) predstavlja ocena obstoječega stanja objekta. Osnova za izdelavo ocene je Metodologija za pregledovanje in oceno varnosti mostov (Žnidarič in sod., 1990), ki določa faktorirane vrednosti poškodbam in napakam, faktorje pomembnosti posameznih elementov, faktorje jakosti poškodb, faktorje njihove razširjenosti in faktorje nujnosti intervencije. Natančneje je metodologija predstavljena v poglavju 3.2.1. Faktorirane vrednosti poškodb in drugi uporabljeni faktorji so po našem mnenju primerno določeni in jih v sklopu razvoja novega sistema upravljanja ni potrebno spreminjati ali dopolnjevati.

Obstoječa metodologija kot končni rezultat poda tako imenovano kakovostno stanje objekta, ki je dejansko seštevek vseh ocen poškodb na posameznem objektu. Način izračuna je prikazan z enačbama (3.1) in (3.2). Ob tem velja opozoriti, da končni rezultat izračuna ne poda nujno tudi stopnje ogroženosti objekta kot posledice poškodb. Razlog za to je neupoštevanje dolžine, števila polj, števila opornikov in drugih značilnosti vsakega obravnavanega objekta. Tako ima na primer dolg premostitveni objekt z večjim številom opornikov lahko veliko število manjših poškodb, ki ne ogrožajo nosilnosti, stabilnosti ali trajnosti objekta, kratek objekt pa ima lahko eno ali dve večji poškodbi, ki lahko povzročita resne posledice, pa vendar bosta oba objekta na podlagi obstoječe metodologije dosegla podobni vrednosti kakovostnega stanja.

Odpravljanje navedene pomanjkljivosti izračuna je lahko kompleksen postopek. Seštevek vrednosti poškodb na posameznem objektu, na primer, ne moremo deliti z dolžinami objektov, s tem pridobiti količino (vrednost) poškodb na tekoči meter ter na podlagi tega podatka primerjati posamezne objekte. V primeru tovrstnega ocenjevanja bi pri objektih z večjimi razponi lahko dobili rezultate, ki bi nakazovali zadovoljivo stanje objekta kljub temu, da objekt dejansko nujno potrebuje sanacijske ukrepe. Tak primer je obravnava objekta z večjim razponom in majhnim številom manjših poškodb, vendar so te zgoščene na majhnem območju v bližini ležišč ali sredini razpona prekladne konstrukcije. Skupna vrednost navedenih poškodb na enoto dolžine bi izkazovala zadovoljivo stanje objekta, čeprav so nekateri elementi objekta morda že na meji porušitve. Primer kaže, da je tovrstno določanje stanja neustrezno. Do podobnega zaključka pridemo tudi v primeru upoštevanja števila polj ali opornikov pri izračunu stanja objekta. V vseh navedenih primerih lahko pride do situacije,

ko eno samo nevarno poškodbo računsko razdelimo na večje število elementov in s tem navidezno zmanjšamo vrednost kakovostnega stanja ter s tem nujnost pristopa k njeni sanaciji. Univerzalne rešitve opisanega problema ni, zato v sistemu za upravljanje z objekti predlagamo razdelitev ocene obstoječega stanja objektov na dve podkategoriji in sicer:

- stopnjo ogroženosti in
- stopnjo poškodovanosti.

### **5.1.1 Stopnja ogroženosti**

Namen izračuna stopnje ogroženosti objekta je odprava pomanjkljivosti, ki jo ima obstoječi način določitve stanja objekta. Z njim bomo lahko kot kritično poškodovane določili tudi tiste objekte, ki imajo majhno število poškodb, vendar so te lahko nevarne in pomenijo zmanjšanje nosilnosti, trajnosti in s tem tudi uporabnosti konstrukcije. Bistveno za določitev takšnih vrst objektov je, da pri oceni ne upoštevamo vseh poškodb objekta, temveč obravnavamo prednostno največje oziroma najtežje. Kljub tej omejitvi lahko v izračunu upoštevamo naslednje alternative:

- le največjo poškodbo,
- tri največje poškodbe,
- največjo poškodbo in še naslednjih pet največjih z določenim redukcijskim faktorjem,
- tri največje poškodbe in vse ostale poškodbe z določenim redukcijskim faktorjem,
- in podobno.

Nedvoumna določitev najprimernejšega obsega upoštevanja poškodb ni mogoča, saj pri različnih tipih in obsegih poškodb na posameznem objektu dobimo različne rezultate o primernosti predlaganih načinov izračuna. Posledično smo najprimernejši način izračuna izbrali na osnovi mnenj strokovnjakov Gradbenega inštituta ZRMK, ki redno opravljajo preglede in meritve premostitvenih objektov (Gostič in sod., 2011). Ocena temelji na izkušnjah, pridobljenih v okviru izvajanja rednih, glavnih ter detajlnih pregledov vseh tipov premostitvenih konstrukcij, na podlagi katerih se izdelujejo poročila, statične, dinamične in potresne analize ter projektne dokumentacije za njihovo sanacijo.

Kot najprimernejša je bila izbrana varianta, kjer upoštevamo tri največje poškodbe. Razlog za to odločitev je, da se na močnejše poškodovanih območjih praviloma naenkrat pojavlja več tipov poškodb, ne le eden. Pri betonskih konstrukcijah so na primer na istem območju večkrat evidentirane sledeče pomanjkljivosti in poškodbe; premajhen zaščitni sloj betona, korozija armature in posledično odpadanje zaščitnega sloja (Gostič in sod., 2011). V primeru

obravnavanja posameznih poškodovanih elementov, na primer dilatacij, imamo prav tako večinoma vsaj tri medsebojno odvisne poškodbe; netesnost dilatacij, zamakanje ležiščne police in posledično poškodbe materiala. Zato predlagamo za določitev indeksa ogroženosti objektov sledeč izračun:

$$I_o = \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^n B_j \cdot K_{1,k} \cdot K_{2,j,k} \cdot K_{3,j,k} \cdot K_{4,j,k} \quad (5.1)$$

kjer so  $j = 1, 2, 3$  tri največje poškodbe na objektu. Določitev osnovne vrednosti poškodb in korekcijskih faktorjev je podrobneje predstavljena v poglavju 3.2.1.

### 5.1.2 Stopnja poškodovanosti

Primarni namen izračuna stopnje poškodovanosti je določitev obsega poškodb (in ne njihove jakosti), na podlagi česar dobimo informacijo o stopnji propadanja objekta kot celote. Z njo ocenimo potrebo po celoviti sanaciji objekta. Če je ta potreba velika, sanacija posameznih (le najbolj poškodovanih) elementov objekta najverjetneje ni smiselna, saj bi bili nato v kratkem sanacijskih posegov potrebni tudi drugi elementi. To bi pomenilo dvakratno izdelavo projektne dokumentacije, zapor ali omejitev prometa prek objekta, pripravljanih del in podobno. Po drugi strani nizka vrednost stopnje poškodovanosti in visoka vrednost stopnje ogroženosti najverjetneje izražata potrebo po nujni sanaciji le večjih poškodb in ne po celoviti sanaciji objekta.

Najprimernejši način izračuna stopnje poškodovanosti objekta smo, podobno kot stopnjo ogroženosti objekta, v sodelovanju z zaposlenimi na Gradbenem inštitutu ZRMK določili empirično. Stopnja poškodovanosti do neke mere nadomešča obstoječi sistem tako imenovanega ratinga objekta, saj pri izračunu upošteva vse poškodbe. Izračuna teh dveh vrednosti sta si zato zelo podobna. Ker pa nujnost intervencije za najhujše poškodbe določimo že s stopnjo ogroženosti, korekcijskega faktorja  $K_4$  pri izračunu stopnje poškodovanosti ni potrebno upoštevati. Njegovo upoštevanje bi celo izkrivilo oceno obsega poškodb, saj je navedeni faktor namenjen inženirski oceni nujnosti intervencije in ne opisuje same poškodbe. Za določitev indeksa poškodovanosti objektov na podlagi zgoraj zapisanega predlagamo sledeč izračun:

$$I_p = \sum_{j=1}^m \sum_{k=1}^n B_j \cdot K_{1,k} \cdot K_{2,j,k} \cdot K_{3,j,k} \quad (5.2)$$

kjer so  $j = 1, \dots, m$  vse evidentirane poškodbe na objektu.

S pomočjo indeksa ogroženosti in indeksa poškodovanosti, ki skupaj tvorita oceno



obstoječega stanja, lahko statistično že določimo tiste premostitvene objekte v omrežju, ki so iz tehničnega vidika najbolj potrebni sanacijskih posegov. Vendar pa izključno na njihovi podlagi ne moremo izdelati srednje ali dolgoročnih planov, povezanih s sanacijami objektov v prihodnosti. Za doseg tega cilja je potrebno na predpisan način oceniti hitrost in intenzivnost propadanja posameznih objektov oziroma njihovih konstrukcijskih sklopov v prihodnosti.

## **5.2 DOLOČANJE HITROSTI PROPADANJA OBJEKTOV**

Propadanje premostitvenih objektov, s tem povezano slabšanje njihovega obnašanja in v primeru nepravočasnega ukrepanja eventualni padec obnašanja pod minimalni zahtevan nivo, ima lahko za posledico sledeče:

- zmanjšanje konstrukcijske varnosti,
- izgubo dela nosilnosti,
- izgubo uporabnosti,
- omejitev prometa,
- skrajšanje življenjske dobe,
- izgubo estetske vrednosti.

Pravilna ocena hitrosti nadaljnjega propadanja posameznih objektov je nujna, v kolikor se želimo izogniti zgoraj zapisanim nevarnostim. V kolikor jo poznamo, lahko:

- ocenimo preostalo življenjsko dobo objekta,
- določimo primerno strategijo vzdrževanja posameznega objekta,
- določimo ključ prednostne obravnave v prihodnjih letih,
- ocenimo potrebna finančna sredstva za vzdrževanje v prihodnjih letih.

Propadanje materialov je kompleksen proces, ki vključuje različne fizične in kemijske spremembe. Do fizičnih sprememb prihaja zaradi vsakodnevnih prometnih obremenitev objektov, naravnih nesreč, prometnih nesreč, neustreznega temeljenja in podobno, medtem ko so kemijske spremembe posledica uporabe posipnih soli, zmrzovanja in tajanja vode, atmosferskih vplivov, načina izdelave posameznih materialov in podobno. Na videz podobno poškodovani premostitveni objekti lahko v prihodnosti propadajo z bistveno različnimi hitrostmi, saj je ta poleg navedenih procesov odvisna tudi od starosti mostu, podnebja, pogostosti in količine uporabe posipnih soli, oddaljenosti od morja, kakovosti gradnje in uporabljenih materialov (npr. tip agregata za beton in dodatki betonu). Pogosto je propadanje materiala, ki je vgrajen v konstrukcijo, posledica hkratnega delovanja večih procesov propadanja, ki lahko v interakciji z drugimi potekajo drugače, kot če bi bil prisoten le en

proces.

Glede na raznovrstnost razlogov za propadanje ter omenjeno sočasno delovanje večih vplivov je izdelava natančnega modela napovedovanja propadanja, ki bi ga bilo moč uporabiti za vse objekte, neizvedljiva. Posledično je potrebno zasnovati poenostavljen model s sprejemljivo natančnostjo. V splošnem delimo modele propadanja na: mehanistične, deterministične, stohastične in modele umetne inteligence (Elbehairy, 2007).

## 5.2.1 Vrste modelov propadanja

### 5.2.1.1 Mehanistični modeli

Mehanistični modeli so detajlni modeli, ki obravnavajo propadanje posameznih materialov, pri tem pa upoštevajo tudi mesta oziroma elemente, v katere so vgrajeni. Propadanje betonskih površin robnih vencev zaradi soljenja je na primer hitrejše kot propadanje betonskih površin prekladne konstrukcije, saj je ta soljenju manj izpostavljena. Proces napredovanja korozije jeklenih nosilnih elementov lahko opišemo z izrazom (Sobanjo 1991):

$$C = A \cdot t^b \quad (5.3)$$

kjer je  $C$  povprečna globina korozije,  $t$  čas v letih,  $A$  in  $b$  pa sta konstanti, ki ju je potrebno določiti empirično, vendar avtor tega podrobneje ne obravnava. Izraz vendar velja le za določen material (jeklo) na določenem elementu premostitvenega objekta. Ne glede na število in tipe izvedenih preiskav je izjemno težko izdelati mehanistične modele propadanja, ki bi ustrezno napovedali slabšanje posameznih elementov na letni ravni. Tako bi samo pri obravnavanju korozije poleg kloridov, ki so večinoma glavni vzrok za njen nastanek in razvoj, morali izdelati ustrezne izraze tudi za obravnavo vseh možnih drugih razlogov za njen nastanek ter hkrati upoštevati posamezne interakcije med posameznimi vzroki. Za obravnavo vseh tipov gradenj, elementov in materialov bi torej potrebovali izjemno velik nabor izračunov, zato mehanističnih modelov propadanja v sklopu BMS ne uporablja nobena država (Elbehairy, 2007).

### 5.2.1.2 Deterministični modeli

Deterministični modeli temeljijo na enoznačni formulaciji oziroma odnosu med vhodnimi in izhodnimi podatki. Izhodni podatki so ob nespremenjenih vhodnih podatkih vedno enaki, saj ni prisotne nobene slučajne spremenljivke, to je upoštevanja morebitnega dogodka v prihodnosti, ki bi lahko vplival na prihodnje stanje objekta ali nezanesljivosti vhodnih

podatkov. Poznamo več tipov determinističnih metod in sicer linearno ekstrapolacijo, regresijsko premico, kvadratno krivuljo in druge.

Najenostavnejša je metoda linearne ekstrapolacije, ki predvideva linearno hitrost propadanja materialov. Načeloma potrebuje metoda le dve izvedeni meritvi (v dveh časovnih obdobjih), na njuni podlagi pa določimo linearne trende propadanja objekta in njegovih posameznih elementov v prihodnosti. Metoda je uporabna zaradi svoje enostavnosti, vendar pa nudi zadovoljivo natančnost le pri kratkoročnih napovedih. Hkrati ni najprimernejša za napovedovanje propadanja relativno novih objektov, saj ti v prvih letih po izgradnji praviloma ne kažejo znakov propadanja, zaradi česar dobimo s to metodo za napoved bodočega stanja nepravilne oziroma preveč optimistične rezultate.

Regresijski modeli upoštevajo vse zajete podatke o obravnavanem pojavu in na njihovi podlagi poskušajo določiti nadaljnji proces propadanja (Jerebic, 2011). Proces lahko pri tem opišemo z linearno ali nelinearno funkcijo, v naslednjem koraku pa iščemo regresijsko premico ali eno od regresijskih krivulj. Regresijsko premico določimo tako, da je pri njej v primerjavi z drugimi možnimi premicami vsota kvadratov odklonov zajetih podatkov najmanjša. V kolikor podatki nakazujejo, da spremembe niso linearne, je potrebno rešitev iskati z eno od regresijskih krivulj.

### **5.2.1.3 Stohastični modeli**

Čeprav se v zadnjih letih v raziskovalnem delu vse bolj uporabljajo stohastični modeli simulacije propadanja, je njihova vključitev v modele za upravljanje s premostitvenimi objekti redka. Stohastični modeli naj bi bili po navedbah nekaterih avtorjev zelo primerni za modeliranje propadanja infrastrukture zaradi velikih negotovosti in naključij v procesov slabšanja stanj (Sobanjo, 1991, Hegazy in sod. 2004, Morcous in Luniz, 2006, Elbehairy, 2007). Najpogosteje uporabljen stohastični model pri obravnavanju premostitvenih objektov so Markovske verige, ki so bile kratko obravnavane že v pregledu literature, poglavje 2.1.4.

Markovske verige temeljijo na konceptu določanja prihodnjih stanj objektov na osnovi verjetnosti spremembe stanja objekta iz ene vrednosti v drugo. Pri določanju verjetnostnih matrik se upoštevajo spremenljivke kot so podnebje, promet, tip konstrukcije, uporabljeni materiali in podobno (Morcous, 2006). Za vsako kombinacijo spremenljivk potrebujemo matriko verjetnosti  $P$ , s katero ocenimo prihodnje stanje objekta:

$$P = \begin{bmatrix} p_{1,1} & p_{1,2} & \cdots & p_{1,n} \\ p_{2,1} & p_{2,2} & \cdots & p_{2,n} \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdots & \cdot \\ p_{n,1} & p_{n,2} & \cdots & p_{n,n} \end{bmatrix} \quad (5.4)$$

$n$  je število stanj, ki jih objekti v sklopu posameznega BMS lahko zavzamejo. V obstoječem slovenskem sistemu poznamo 5 stanj, medtem ko predpisuje ameriški standard NBIS 9 stanj objektov. Vsak element v matriki  $P_{i,j}$  poda verjetnost prehoda objekta ali njegovega elementa iz stanja  $i$  v stanje  $j$  v določenem časovnem obdobju. Za izračun prihodnjega stanja moramo poznati še obstoječe stanje posameznega objekta  $P(0)$ , stanje objekta v času  $t$  pa nato določimo z izrazom:

$$P(t) = P(0) \cdot P^t \quad (5.5)$$

Pri tem moramo za posamezen objekt izbrati matriko verjetnosti  $P$ , ki s kombinacijo svojih spremenljivk najbolj ustreza značilnostim obravnavanega objekta.

Testiranja so v teoretičnih modelih ter pri obravnavanju majhnih testnih omrežij objektov dala zelo dobre rezultate, o čemer pričajo tudi številne objave na to temo. V praksi je predvsem zaradi potrebe po določitvi širokega spektra podatkov in njihovih interakcij modeliranje verig zelo zahtevno, zato so nekateri mnenja (Woodward, 2001), da je njihova uspešna implementacija v splošno prakso zelo težko izvedljiva.

#### 5.2.1.4 Modeli umetne inteligence

Na področju umetne inteligence je na voljo večje število tehnik, ki jih načeloma lahko uporabimo za modeliranje propadanja infrastrukturnih objektov. Največkrat so v literaturi obravnavane nevronske mreže, bistveno redkeje pa tudi strojno učenje, avtomatsko programiranje in različni ekspertni sistemi. Uporabnost nevronskih mrež so preverjali ali uporabljali v teoretičnih sistemih različni avtorji, tako domači (Žnidarič, 1995) kot tuji (Tokdemir in sod., 2000, Morcous 2002 in podobno). Kljub nekaterim prednostim ima uporaba posameznih metod umetne inteligence več pomanjkljivosti. Pri njihovi primerjavi se izkaže (Morcous, 2002), da je izdelano nevronske mreže kasneje težko nadgraditi ali razširiti, hkrati pa daje nekoliko slabše rezultate kot na primer "case-based reasoning", ki ga uvrščamo v skupino strojnega učenja. Slabost slednjega je, da ne more napovedovati prihodnjih dogodkov, v kolikor v bazi podatkov nima shranjenega podobnega primera. Pregled literature kaže, da je število relevantnih prispevkov majhno, kar nakazuje, da metoda ni najbolj primerna za obravnavanje propadanja infrastrukturnih objektov.

## 5.2.2 Izbrani model propadanja

Na podlagi pregledane literature (Elbehairy, 2007, Patidar, 2007, Agrawal in Kawaguchi, 2009, Stratt, 2010 in podobno) lahko sklepamo, da sta za določanje nadaljnjega procesa propadanja objektov v splošnem primerni le dve metodi in sicer Markove verige med stohastičnimi modeli ter regresijske premice in krivulje med determinističnimi modeli. Markove verige so primerne za uporabo v primerih, ko imamo na razpolago širok nabor podatkov, ki so nujno potrebni za izdelavo kakovostnega modela. V nasprotnem primeru so rezultati lahko celo slabši, kot bi jih dobili z enostavnejšimi orodji.

Na področju RS se srečujemo z zelo različnimi prometnimi obremenitvami posameznih objektov, imamo raznovrstna podnebja, z njimi povezano potrebo po različno intenzivnem posipanju soli v zimskih mesecih in podobno. Če k temu dodamo še raznovrstnost objektov, ti so grajeni v različnih časovnih obdobjih (kakovost gradnje izpred desetletij je težko primerljiva z današnjo) in iz različnih materialov, imamo široko paleto značilnosti, ki jih moramo v primeru izdelave matrik Markovskih verig obravnavati v vseh možnih kombinacijah. Zaradi raznovrstnosti obravnavanih objektov, ki se razlikujejo glede na prometne obremenitve, vrste podnebja, časovno obdobje gradnje ter vrste nosilne konstrukcije, bi morali določiti izjemno veliko število prehodnih matrik, ki so ključni element Markovih verig. Zbirka razpoložljivih podatkov mora biti za izdelavo kakovostnega modela Markovih verig (oziroma njegovih matrik) izjemno obsežna ter tudi zadovoljivo natančna. Ker tovrstne baze v RS nimamo, določitev potrebnih matrik ni izvedljiva. Kot edina primerna metoda za razvijanje se torej izkaže deterministični model z regresijsko analizo.

Deterministični modeli temeljijo na iskanju povprečja, zato so tudi njihovi rezultati v povprečju točni (Jerebic, 2012). Z načrtovanim modelom propadanja želimo obravnavati le šestletno obdobje, zato je po naši presoji uporaba regresijske analize za izbran sistem upravljanja zelo primerna. Regresijska analiza preučuje odnos med dvema ali več spremenljivkami in sicer med odvisno in eno ali več neodvisnimi spremenljivkami. Ta odnos se preučuje tako, da se uporablja regresijski model. Z njegovo pomočjo napovedujemo vrednosti odvisne spremenljivke iz ene ali več neodvisnih spremenljivk. Regresijske modele ločimo glede na (Kraner Šumenjak, 2011):

- Število spremenljivk:
  - Bivariantna regresija
  - Multivariantna regresija
- Vrsto odvisne spremenljivke:

- Numerična regresija
- Logistična regresija
- Glede na obliko:
  - Linearna
  - Nelinearna (kvadratna, kubična, eksponentna,...)

Za potrebe določanja hitrosti propadanja objektov v odvisnosti od posameznih kombinacij vplivov, smo se odločili uporabiti numerični odsekoma linearni regresijski model. Odvisna spremenljivka, ki jo iščemo, je letna stopnja propadanja, odvisna pa je od več neodvisnih spremenljivk, kot so obstoječe stanje objekta, vrsta objekta, podnebni tip in konstrukcijski sklop objekta, ki ga obravnavamo. Način določanja vrednosti hitrosti propadanja je predstavljen v poglavju 5.2.5, pred pristopom k izračunu pa moramo razpoložljive podatke ustrezno statistično obdelati, izločiti morebitne nepravilne podatke, ki bi lahko vplivali na pravilnost izračuna in natančno definirati vplive, katerih kombinacije bomo pri določanju hitrosti propadanja obravnavali.

### **5.2.3 Izbira upoštevanih vplivov**

Vzrokov za propadanje objektov je veliko, mednje lahko tako uvrstimo pomanjkljivo kakovost gradnje, starost gradnje, vrsto konstrukcije, uporabljene materiale, prometne obremenitve, atmosferske vplive, uporabo posipnih soli, oddaljenost od morja, naravne nesreče in podobno. V kolikor bi v sklopu kasnejše obdelave podatkov upoštevali vse našteje vplive, objektov statistično ne bi mogli obdelati, saj bi imelo veliko število premostitvenih objektov unikatno kombinacijo vplivov in jih medsebojno ne bi mogli primerjati.

Vrednosti nekaterih vplivov ni mogoče natančno določiti, kar predstavlja še dodatno težavo pri interpretaciji rezultatov v primeru njihovega upoštevanja. Kakovost gradnje je težko objektivno ovrednotiti, še posebej če ocena temelji samo na vizualnem pregledu. Nadalje je težko določljiva (predvsem pri starejših objektih) starost gradnje, saj so bili le-ti tekom svojega obstoja najverjetneje že deležni določenih sanacijskih ukrepov ali celo rekonstrukcije, zaradi česar leto njihove izgradnje ne odraža več njihove dejanske starosti. Naravne nesreče so redki pojav, velikostni red njihovega vpliva na premostitvene objekte pa je zelo različen in težko določljiv. V zadnjih dveh desetletjih smo na območju RS imeli tako dva močnejša potresa kot tudi več poplav velikih razsežnosti. Potresi so imeli na premostitvene objekte večinoma zelo majhen vpliv, medtem ko so imele poplave predvsem

na bolj izpostavljene objekte izredno zelo velik vpliv<sup>1</sup>. Premostitveni objekti, ki so bili med poplavami v letih 2007 in 2010 močnejše poškodovani, so bili v veliki večini primerov do konca leta 2012 že nadomeščeni z novimi ali celovito rekonstruirani. Na podlagi navedenega sodimo, da upoštevanje vpliva naravnih nesreč pri obdelavi podatkov ni smiselno, saj so posledice naravnih nesreč bodisi dokaj hitro odpravljene, ali pa že v osnovi ne vplivajo znatno na stanje konstrukcij. Uporaba posipnih soli med zimsko sezono je v veliki meri soodvisna od atmosferskih vplivov in s tem podnebja, zato njihov vpliv po našem mnenju zajamemo že z upoštevanjem podnebnih kart in jih ni potrebno posebej upoštevati. Iz gornje diskusije sledi, da so glavne značilnosti, ki vplivajo na intenziteto propadanja objektov in jih bomo v nadaljevanju vključili v analizo, konstrukcijski material, prometne obremenitve, podnebni tipi in funkcija objekta (podvoz/nadvoz/viadukt ali most).

Uporaba različnih materialov za gradnjo premostitvenih objektov ima zgodovinske, cenovne, praktične in druge razloge. Na državnih cestah RS je bilo v preteklosti za gradnjo premostitvenih objektov uporabljenih kar sedem vrst materialov ali njihovih kombinacij. Daleč največje je število armiranobetonskih objektov, sledijo pa jim kamniti oziroma zidani, ki so v povprečju najstarejši. Na državnih cestah je grajeno še več deset jeklenih in prednapetih premostitvenih objektov, medtem ko je lesenih in različnih vrst sovprežnih mostov skupno le enajst, kar je premalo za ustrezno statistično obdelavo. Zato razvrstimo objekte glede na konstrukcijski material na armiranobetonske (*AB*), kamnite (*K*), jeklene (*J*) in prednapete (*P*) premostitvene objekte:

$$M_i \in (AB, K, J, P) \quad (5.6)$$

V RS imamo tri izrazita podnebja; primorsko ali sredozemsko, celinsko in gorsko (slika 5.1). Vsako ima svoje značilnosti, ki vplivajo na hitrosti procesov propadanja obravnavanih objektov. Za primorsko podnebje so značilne mile zime z redkimi obdobji temperatur zraka pod lediščem in zmerna letna količina padavin. V celinskem podnebjju so prisotna velika temperaturna nihanja tako med posameznimi letnimi časi kot tudi med dnevom in nočjo, zaradi česar imamo predvsem v zimskih mesecih veliko število dni z nočnimi temperaturami pod lediščem in dnevnimi nad njim. Za gorsko podnebje so pozimi značilna daljša obdobja temperatur pod lediščem in zmerno topla poletja, letna količina padavin pa je večja kot pri preostalih podnebnih tipih. Tako podnebne tipe kot tudi njihove meje je določil Geografski

---

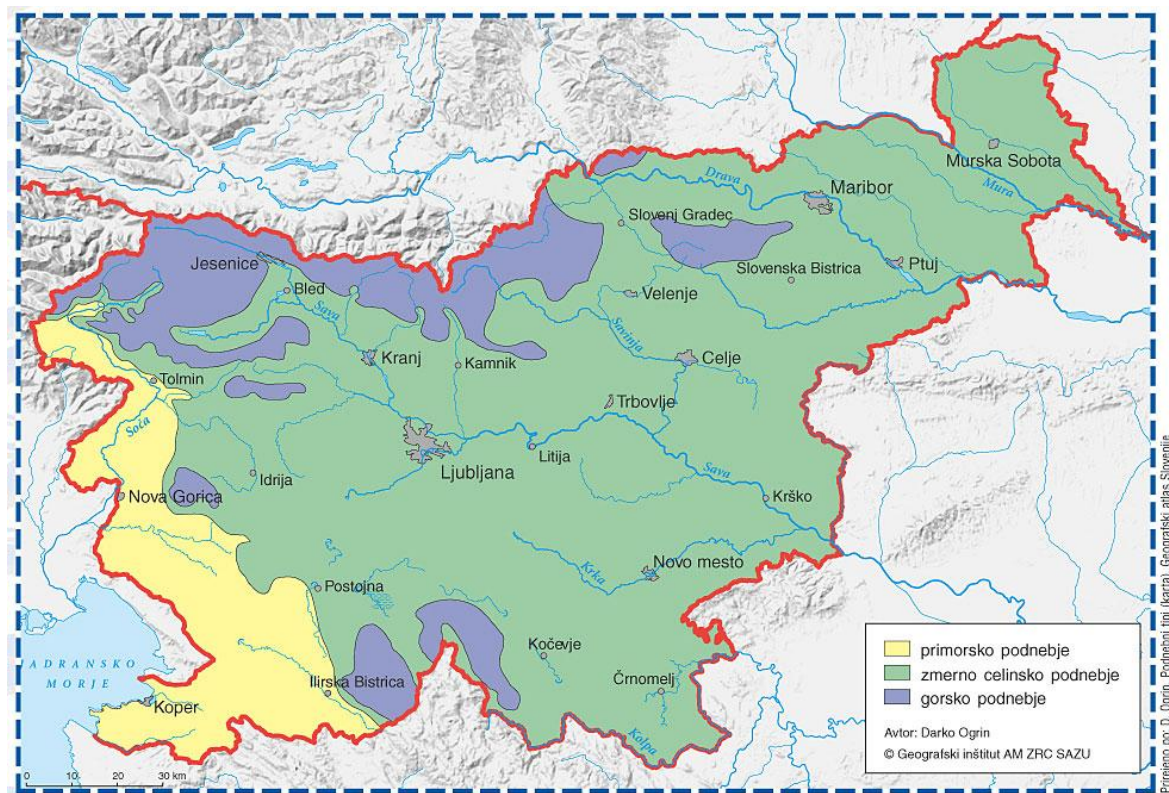
<sup>1</sup> Navedeni podatki temeljijo na osebnih izkušnjah avtorja, ki jih je pridobil v sklopu sodelovanja pri popotresni obnovi Posočja v letih 2004 in 2005 ter v sklopu sodelovanja pri odpravi posledic poplav v letih med 2007 in 2014, kjer je deloval kot popisovalec škode na terenu, izdelovalec projektne dokumentacije in recenzent sanacijskih projektov.



inštitut ZRC SAZU (Založba Modrijan, podnebni tipi, 2012). Na podlagi karte (slika 5.1) smo obravnavane objekte glede na njihov geografski položaj razvrstili v eno izmed treh kategorij:

$$Cl_i \in (Sr, Ce, Gr) \quad (5.7)$$

kjer je *Sr* sredozemsko, *Ce* celinsko in *Gr* gorsko podnebje.



Slika 5.1: Karta podnebnih tipov na območju Republike Slovenije (Založba Modrijan, podnebni tipi, 2012)

Figure 5.1: Climate types in the Republic of Slovenia (Založba Modrijan, podnebni tipi, 2012)

Prometna obremenitev, način njene določitve in razvrstitve v posamezne razrede je v RS opredeljena s tehnično specifikacijo za javne ceste TSC 06.511:2009. Odvisna je od števila prehodov nazivne osne obremenitve 100 kN na dan oziroma v 20 letni dobi. Prometne obremenitve so razvrščene v 6 skupin, kot prikazuje preglednica 5.1. Dve najvišji skupini obremenitev, ki imata število prehodov nazivne osne obremenitve 100 kN nad 800 vozil dnevno, dosežejo le hitre ceste in avtoceste, katerih objekti niso predmet tega raziskovalnega dela. Slovenske avtoceste so bile namreč dograjene šele pred kratkim, zato je stopnja poškodovanosti njihovih premostitvenih objektov večinoma majhna, zajeti podatki pa nam posledično ne morejo dati zanesljivih podatkov o procesih propadanja, saj so se le-ti na večini objektov šele pričeli. Posledično imamo na voljo podatke le za objekte, ki glede na prometno obremenitev spadajo v spodnje 4 skupine obremenitev. Zaradi zmanjšanja števila možnih kombinacij značilnosti, s katerimi bomo razvrščali objekte, smo se odločili združiti

obe najnižji skupini obremenitev, "zelo lahko" in "lahko", v enotno skupino. Objekti obeh skupin imajo glede na ostale namreč zelo nizko obremenitev in majhen razpon vrednosti. Glede na prometno obremenitev smo objekte torej razvrstili v tri kategorije:

$$P_i \in (L, S, T) \quad (5.8)$$

kjer je  $L$  lahka,  $S$  srednja in  $T$  težka prometna obremenitev. Mejne vrednosti posamezne kategorije so prikazane v preglednici 5.2.

Preglednica 5.1: Razvrstitev prometnih obremenitev skladno s TSC (TSC 06.511:2009)

Table 5.1: Traffic load classification in accordance with TSC (TSC 06.511:2009)

Skupina prometne obremenitve	Število prehodov nazivne osne obremenitve 100 kN	
	na dan	v 20 letih
- izredno težka	nad 3000	nad $2 \times 10^7$
- zelo težka	nad 800 do 3000	nad $6 \times 10^6$ do $2 \times 10^7$
- težka	nad 300 do 800	nad $2 \times 10^6$ do $6 \times 10^6$
- srednja	nad 80 do 300	nad $6 \times 10^5$ do $2 \times 10^6$
- lahka	nad 30 do 80	nad $2 \times 10^5$ do $6 \times 10^5$
- zelo lahka	do 30	do $2 \times 10^5$

Preglednica 5.2 Razvrstitev prometnih obremenitev za potrebe razvoja predlaganega sistema za upravljanje

Table 5.2: Traffic load classification for the proposed bridge management system

Skupina prometne obremenitve	Število prehodov nazivne osne obremenitve 100 kN	
	na dan	v 20. letih
- težka	nad 300	nad $2 \times 10^6$
- srednja	nad 80 do 300	nad $6 \times 10^5$ do $2 \times 10^6$
- lahka	do 80	do $6 \times 10^5$

Vrednosti prometnih obremenitev cestnih odsekov, ki potekajo prek obravnavanih premostitvenih objektov, so dostopni na internetni strani Direkcije RS za ceste, zadnji razpoložljivi podatki pa veljajo za leto 2011 (DRSC, 2011). Objekte smo razvrstili v posamezne kategorije prometnih obremenitev na podlagi nazivnih osnih obremenitev v 20 letih. Za nadvoze, prek katerih potekajo javne, poljske in druge poti, podatki o prometnih obremenitvah niso razpolago, saj se štetje prometa na tovrstnih cestnih odsekih ne izvaja. Privzeli smo, da so vse tovrstne ceste prometno manj obremenjene in jih uvrstili v kategorijo lahke prometne obremenitve.

Premostitvene objekte glede na njihovo funkcijo ločimo na mostove, podvoze, nadvoze in viadukte. Mostovi premoščajo vodotoke, njihovi temelji, oporniki in krila pa so pogosto izpostavljeni vplivom vode, kot je abrazija, erozija, zmrzovanje in stalna visoka vlažnost. Podvozi, nadvozi in viadukti s tekočo vodo niso v stiku in jih torej tovrstni vplivi ne obremenjujejo, zato pričakujemo, da vsaj njihovi spodnji konstrukcijski elementi (temelji, oporniki in krila) propadajo počasneje kot pri mostovih. Za potrebe določanja hitrosti propadanja objekte glede na funkcijo delimo le na dve vrsti:

$$F_i \in (M, V) \quad (5.9)$$

kjer so  $M$  mostovi in  $V$  podvozi, nadvozi in viadukti.

Hitrost propadanja objektov kot funkcijo zgoraj opisanih vplivov lahko zapišemo:

$$o_i = o_i(M_i, P_i, Cl_i, F_i) \quad (5.10)$$

kjer je  $o_i$  izbrani objekt  $i$ ,  $M$  njegov konstrukcijski material,  $P$  prometna obremenitev,  $Cl$  podnebni tip,  $F$  funkcija objekta.

Za potrebe analize, ki jo predstavljamo v nadaljevanju, smo posamezen objekt razdelili na tri konstrukcijske sklope: podkonstrukcijo, prekladno konstrukcijo in cestišče. Ti sklopi so izpostavljeni raznim vplivom, ki imajo različno intenziteto. Tako je v primeru mosta podkonstrukcija izpostavljena direktnem kontaktu z vodo, medtem ko je cestišče izpostavljeno prometni obtežbi. Na propadanje tega sklopa (cestišča) pa ne vpliva vodotok pod objektom. Posamezni konstrukcijski sklopi izbranega objekta,  $KS_i$ , lahko torej propadajo z različno intenziteto, zato jih moramo analizirati ločeno. Objekt zato razdelimo na konstrukcijske sklope:

$$KS_i = (Po_i, Pr_i, Cs_i) \quad (5.11)$$

Kjer so  $Po_i$  podkonstrukcija,  $Pr_i$  prekladna konstrukcija in  $Cs_i$  cestišče objekta  $i$ .

Spisek vseh izbranih vplivov in vrednosti, ki jih posamezni vpliv lahko zavzame, je prikazan v preglednici 5.3.

### Preglednica 5.3: Izbrani vplivi in njihove vrednosti

Table 5.3: Identified parameters of influence and range of assigned values belonging to each parameter

VPLIV	ŠT. VREDNOSTI	VREDNOST
konstrukcijski material, $M$	4	armiranobetonski, kamniti, prednapeti, jekleni
prometna obtežba, $P$	3	lahka, srednja, težka
podnebni tip, $C/I$	3	sredozemski, celinski, gorski
funkcija objekta, $F$	2	most, podvoz/nadvoz/viadukt
konstrukcijski sklop, $Ks$	3	podkonstrukcija, nadkonstrukcija, cestišče

#### 5.2.4 Statistična analiza in urejanje razpoložljivih podatkov

Število redno pregledanih premostitvenih objektov na slovenskih državnih cestah, katerih upravljalec in koordinator pregledov je Direkcija Republike Slovenije za ceste, se vsako leto zaradi rekonstrukcij, rušitev in nadomestnih gradenj rahlo spreminja. V letih 2010 in 2011 (ker se pregledi izvajajo z dvoletnimi intervali, moramo analizirati dvoletno obdobje) je bilo pregledanih 1309 objektov, mednje pa je spadalo tudi 23 krajših predorov ali vkopov ter 4 galerije, ki jih v nadaljevanju ne bomo obravnavali. Predmet obravnave je tako 1282 premostitvenih objektov na državnih cestah, ki so bili v preteklih dveh ciklih deležni rednih ali glavnih pregledov.

Število posameznih vrst objektov, ki jih razvrstimo glede na vrsto konstrukcije, prometne obremenitve in podnebne tipe, je predstavljeno v preglednici 5.4. Vidimo lahko, da nimamo niti enega lesenega ali sovprežnega objekta s težko obremenitvijo, prav tako ti niso zastopani na območju primorskega podnebja. V teh primerih analize torej ne moremo izvesti. Sodimo, da je število objektov premajhno za izvedbo analize tudi pri nekaterih kombinacijah vplivov kamnitih, prednapetih in jeklenih objektov, zaradi česar teh kombinacij vplivov v nadaljevanju ne bomo obravnavali.

Kljub dejstvu, da bomo analizirali propadanje objektov le v odvisnosti od štirih izbranih vplivov (pri čemer smo že v poglavju 5.2.3 opredelili, da lesenih in sovprežnih konstrukcij v sklopu vpliva konstrukcijskega materiala ne bomo obravnavali), ti skupno omogočajo 72 različnih kombinacij, ki so že bile predstavljene v preglednici 5.3. Nadalje moramo v izhodiščih analize upoštevati dejstvo, da so nadvozi, podvozi in viadukti na slovenskih državnih cestah grajeni skoraj izključno z armiranim betonom, zato lahko hitrost propadanja objektov v odvisnosti od njihove funkcije obravnavamo le zanje. Nadalje imamo na območju

gorskega podnebja le peščico objektov grajenih iz kamna, jekla ali prednapetja, le nekaj več jih je na območju primorskega podnebnege tipa. Med možnimi kombinacijami vplivov je torej 36 takšnih, ki ne ustrezajo značilnostim nobenega objekta, dodatnim 11 kombinacijam ustreza manj kot deset objektov. Glavnina objektov je tako razvrščenih v vsega 17 kombinacij vplivov, med katerimi so prisotne skoraj vse kombinacije z armiranobetonskimi objekti, precejšnje pa je tudi število kombinacij s kamnitimi, prednapetimi in jeklenimi objekti (preglednica 5.5).

Preglednica 5.4: Število posameznih vrst objektov glede na prometno obremenitev in podnebni tip

Table 5.4: Number of individual material types of bridges divided depending on traffic load and climate type

MATERIAL	VRSTA KONSTR.	ŠT.	PROMETNA OBREMENITEV			PODNEBNI TIP		
		[n]	lahka	srednja	težka	prim.	celin.	alpsko
armiran beton	most	899	538	202	159	81	754	64
	nadvoz/podvoz	150	62	29	59	35	104	11
kamnito	most	97	58	30	9	37	58	2
prednapeto	most	75	29	20	26	1	74	0
jekleno	most	50	42	6	2	6	40	4
leseno	most	5	3	2	0	0	4	1
sovprežno	most	6	5	1	0	0	4	2
SKUPNO		1282	737	290	255	160	1038	84
			1282			1282		

Predmet obravnave so podatki o stanju objektov (ratingi), zajeti tekom rednih in glavnih pregledov premostitvenih objektov na državnih cestah v RS od leta 1993 dalje. Izmed skupno obstoječih 1282 objektov, v nadaljevanju ne bomo analizirali podatkov za 11 lesenih in sovprežnih mostov, hkrati pa v bazi ni podatkov za 63 armiranobetonskih objektov. Predmet nadaljnje analize bo tako 1208 mostov, podvozov, nadvozov in viaduktov. Podatke o njih smo pridobili pri Direkciji RS za ceste, ki je upravljalec objektov, pri njihovi interpretaciji pa smo si med drugim pomagali tudi z zapisniki terenskih pregledov, ki jih za direkcijo RS za ceste že vrsto let izvaja Gradbeni inštitut ZRMK d.o.o. Interpretacija nekaterih nizov podatkov je bila potrebna zaradi močno pomanjkljivih podatkov o delnih sanacijah objektov kot tudi zaradi nekonsistentnih meril pri oceni obsega in/ali intenzivnosti poškodb nekaterih pregledovalcev objektov. Problematika je natančneje obravnavana v nadaljevanju.

Preglednica 5.5: Število objektov primernih za analizo po posameznih kombinacijah vplivov

Table 5.5: Number of bridges under consideration, structured with respect to the parameters of influences

		MATERIAL in FUNKCIJA	PODNEBJE		
			sredozemsko [Sr]	celinsko [Ce]	gorsko [Gr]
OBTEŽBA	lahka [L]	[AB, V]	17	30	9
		[AB, M]	46	402	55
		[K, M]	21	35	2
		[J, M]	5	33	4
		[P, M]	1	28	0
	srednja [S]	[AB, V]	8	20	1
		[AB, M]	20	171	5
		[K, M]	13	17	0
		[J, M]	1	5	0
		[P, M]	0	20	0
	težka [T]	[AB, V]	6	49	1
		[AB, M]	10	135	1
		[K, M]	3	6	0
		[J, M]	0	2	0
		[P, M]	0	26	0

Skupno smo analizirali prek 50.000 vhodnih podatkov, tako imenovanih ratingov objektov kot celot in njihovih posameznih konstrukcijskih sklopov. Slednji so, skladno z obstoječo metodologijo, razdeljeni na spodnjo konstrukcijo, prekladno konstrukcijo, cestišče in opremo objekta (preglednica 5.6). Poleg ratingov je v preglednici podano še leto izgradnje posameznega objekta, leto njegove morebitne rekonstrukcije in skupna ocena stanja objekta v posameznem letu pregleda.



Preglednica 5.6: Primer izpisa ratingov iz baze podatkov za objekt CE0002

Table 5.6: Database rating outputs for structure CE0002

SIFRA OBJEKTA	GRADNJA	REKONSTR.	PREGLED	OCENA	RATING SPODNJE	RATING PREKLADNE	RATING CESTIŠČA	RATING OPREME	RATING SKUPNI
CE0002	1901	1998	1994	1	12,904	7,66	0,414	0	20,978
CE0002	1901	1998	1996	1	43,784	20,02	1,28	0,24	65,324
CE0002	1901	1998	2000	5	0,96	0	0,432	0	1,392
CE0002	1901	1998	2003	5	0,96	0	0,432	0	1,392
CE0002	1901	1998	2005	5	0,57	1,16	0,832	0,936	3,498
CE0002	1901	1998	2007	4	2,97	1,16	1,204	0,42	5,754
CE0002	1901	1998	2009	4	0,09	1,16	0,828	0,7	2,778
CE0002	1901	1998	2011	5	0,09	1,16	1,644	0,48	3,374

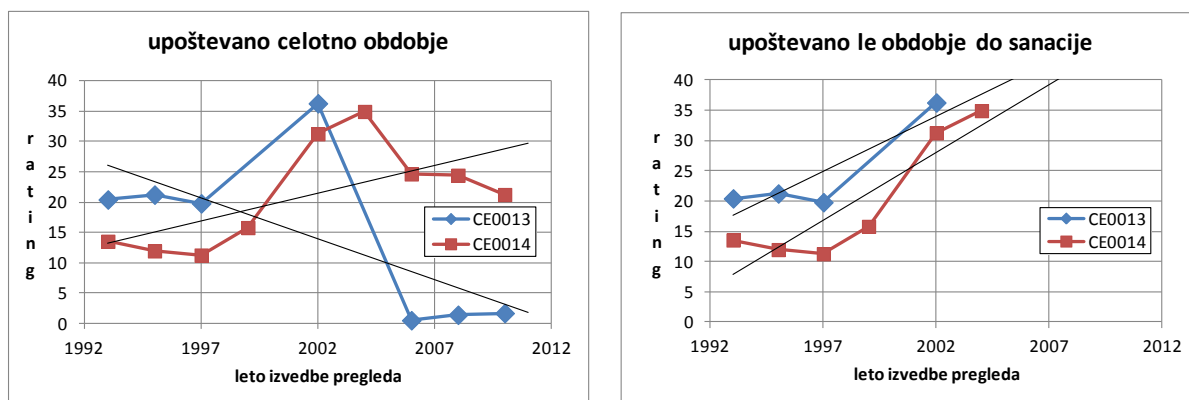
#### 5.2.4.1 Določanje leta izvedbe sanacijskih ukrepov

Kot smo že omenili, obstoječa zbirka podatkov ne beleži eksplicitno trenutka izvedene sanacije ali rekonstrukcije objekta, kar predstavlja za nadaljnjo analizo precejšen izziv. Poznavanje leta izvedb tako celovitih kot delnih sanacij/rekonstrukcij objektov je namreč ključno za kasnejšo pravilno določitev hitrosti propadanja. V ilustracijo tega problema prikazujemo v nadaljevanju primer objekta, ki je bil v analiziranem obdobju saniran.

Hitrost propadanja določimo z linearno regresijsko analizo, kar pomeni, da lahko v primeru obravnavanja saniranih objektov upoštevamo bodisi ratinge v časovnem obdobju pred sanacijo bodisi ratinge, določene po sanaciji. V primeru upoštevanja ratingov za celotno obdobje, ki ga analiziramo, je določanje regresijske premice za opisan primer nerelevantno, oz., če jo določimo, izračunani naklon regresijske premice ne odraža dejanskega razvoja stanja objekta. Na sliki 5.2 prikazujemo razvoj stopnje poškodovanosti s časom za dva objekta. Objekt z oznako CE0013 je bil v letu 2004 deležen popolne sanacije, medtem ko je bila na objektu CE0014 v letu 2005 izvedena le sanacija cestišča in prekladne konstrukcije. Črni črti prikazujeta regresijski premici, ki ju določimo a) za celotno časovno obdobje, in b) le za obdobje do trenutka sanacije. Na desnem grafikonu, kjer upoštevamo le podatke do leta izvedbe sanacije, odraža dobljena regresijska premica dejanske trende dokaj dobro. Vidimo lahko tudi, da sta tudi naklona obeh premic (oz. izračunana hitrost propadanja objektov) podobna. Na levem grafikonu so upoštevani podatki celotnega obdobja. Regresijska premica za objekt z oznako CE0013, ki je bil v obravnavanem obdobju v celoti saniran, izkazuje



nerealne trende, saj se stanje objekta navidezno izboljšuje. Regresijska premica za objekt CE0014, ki je bil v obravnavanem obdobju le delno saniran, pa ima bistveno manjši naklon, kot v primeru upoštevanja trenutka izvedbe sanacijskih ukrepov.



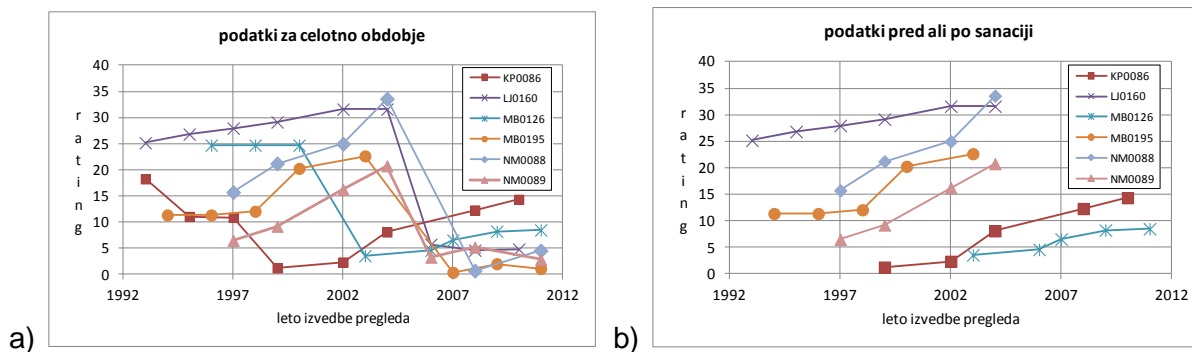
Slika 5.2: Določevanje hitrosti propadanja objektov s pomočjo linearne regresije a) za primer brez upoštevanja in b) za primer z upoštevanjem izvedbe sanacijskih posegov

Figure 5.2: Determination of deterioration rate by using linear regression a) for actual inspection data and b) for processed data (where the remedial occurrence is taken into the account)

Identifikacija objektov, ki so bili deležni popolne sanacije ali celo rekonstrukcije posameznih konstrukcijskih sklopov, ni zahtevna, saj se njihovi ratingi tako za celoten objekt kot tudi za posamezne konstrukcijske sklope iz dokaj visokih vrednosti bistveno znižajo. Zahtevnejše je določiti objekte, ki so bili deležni le delne sanacije, kot na primer velja za že prikazani objekt CE0014 (slika 5.2). V takšnih primerih moramo ločiti med delnimi sanacijami in večjimi nekonsistentnimi spremembami (dvigi ali padci) zabeleženih vrednosti ratingov glede na predhodni pregled, ki so posledica neenakih meril pregledovalcev objektov. Za nedvoumno določitev vzroka za izstopajoče spremembe ratingov za posamezne objekte oz. njihove dele je bilo zato potrebno posamično pregledati večje število starih zapisnikov o pregledih objektov, ki v obstoječo računalniško podprto podatkovno zbirko niso vključeni. Na njih je namreč poleg popisa poškodb po posameznih elementih in ratingov po posameznih konstrukcijskih sklopih navedeno tudi, kateri sanacijski ukrepi so bili med posameznimi pregledi izvedeni.

Po določitvi časa morebitnih izvedb sanacije za posamezen objekt smo morali določiti še ali bomo analizirali ratinge za obdobje pred ali po izvedenih sanacijah. Glede na dejstvo, da ima vsak objekt izvedenih največ devet pregledov, je v nadaljnjih analizah za posamezen saniran objekt upoštevano tisto obdobje, znotraj katerega so bili izvedeni vsaj štirje pregledi. Primer podatkovnih nizov za celotna obdobja in le obdobja pred ali po sanaciji prikazujemo na sliki

### 5.3.



Slika 5.3: Primeri gibanja vrednosti ratingov 6 objektov med leti 1993 in 2011 za: a) dejanski podatki za celotna obdobja, b) obdelani podatki (kjer odstranimo niz podatkov pred ali po prenovi)

Figure 5.3: Examples of condition ratings for 6 individual bridges between 1993 and 2011: a) Actual inspection data, b) Processed data (ratings either before or after rehabilitation are removed from original datasets)

#### 5.2.4.2 Obravnava vrednosti z največjim odstopanjem v nizu

Med pregledi zapisnikov, ki smo jih izvedli za potrebe določanje datuma izvedbe sanacijskih ukrepov smo prišli do ugotovitve, da so bile v nekaterih nizih podatkov za posamezne objekte prisotne ocene stanja, ki najverjetneje niso odražale dejanskega stanja na terenu v tistem letu. V vseh primerih je šlo za zelo visoke vrednosti ratingov tako za posamezne konstrukcijske sklope ter posledično tudi za ratinge objektov kot celot. Ker določajo vrednosti ratingov pregledovalci, lahko pričakujemo, da bo med njihovimi ocenami poškodovanosti elementov prihajalo do razlik. Razlogov za te razlike je več. Sodimo, da so najpomembnejši izmed njih subjektivnost v presoji evidentiranih poškodb (ki je pri obstoječem načinu ocenjevanja ne moremo v celoti eliminirati), pa tudi nezadostna usposobljenost ali pomanjkljive izkušnje pregledovalca.

V obstoječi zbirki podatkov smo identificirali primere, ko je pregledovalec le med enim pregledom (verjetno iz zgoraj navedenih razlogov) ocenjeval elemente objekta izjemno konservativno ter je zato več sicer nekritičnih poškodb ocenil kot nevarne in potrebne čim prejšnjega popravila. Naslednje preglede so opravljali drugi, morda bolj izkušeni pregledovalci in ocenili objekt in njegove dele bolje (torej z nižjimi vrednostmi ratingov na vseh ocenjevalnih nivojih). Kljub temu so vrednosti zabeleženih ratingov predhodnega pregleda ostale nespremenjene. V teh primerih so časovni trendi oz. spreminjanje ocene

stanja objekta (in/ali njegovih delov) s časom, ki izhajajo iz podatkovne zbirke upravljalca, nerealni.

Da bi opisane primere nezanesljivih podatkovnih nizov identificirali ter nato modificirali tako, da bi zagotovili enoličen trend spreminjanja ratinga s časom, smo za vsak objekt določili hitrost propadanja (oz. naraščanje ratinga poškodovanosti) z metodo linearne regresije. Posameznemu objektu smo za vsako leto ( $x_t$ ) določili vrednost ratinga ( $y_{t,lin}$ ) z izrazom:

$$y_{t,lin} = a + b \cdot x_t \quad (5.12)$$

kjer parametra  $a$  in  $b$  (hitrost propadanja) določimo z metodo najmanjših kvadratov:

$$b = \frac{\sum_{t=1}^s (x_t - \bar{x}) \cdot (y_t - \bar{y})}{\sum_{t=1}^s (x_t - \bar{x})^2} \quad (5.13)$$

$$a = \bar{y} - b \cdot \bar{x}$$

Pri čemer je  $t$  podatkovna točka,  $\bar{x} = \frac{1}{s} \cdot \sum_{t=1}^s x_t$  in  $\bar{y} = \frac{1}{s} \cdot \sum_{t=1}^s y_t$  in  $s$  število podatkovnih točk.

Dejanske vrednosti ratingov poškodovanosti v posameznem letu ( $y_t$ ) se razlikujejo od vrednosti, ki jih zavzame regresijska premica ( $y_{t,lin}$ ), saj slednja idealizira potek propadanja. Z namenom določitve velikostnega reda odstopanja med dejansko in z izrazom izračunano vrednostjo ratinga smo za vse objekte izračunali standardno napako vrednosti dejanskih ratingov glede na napovedane vrednosti ratingov. Izračun je bil narejen za objekte kot celote kot tudi za njihove posamezne konstrukcijske sklope. Enačba za standardno napako (SE) napovedane vrednosti  $y_{t,lin}$  je:

$$SE = \sqrt{\frac{1}{(n-2)} \cdot \left[ \sum_{t=1}^s (y_t - \bar{y})^2 - \frac{\left[ \sum_{t=1}^s (x_t - \bar{x}) \cdot (y_t - \bar{y}) \right]^2}{\sum_{t=1}^s (x_t - \bar{x})^2} \right]} \quad (5.14)$$

kjer je  $n$  velikost niza podatkov,  $\bar{x}$  in  $\bar{y}$  njegovi srednji vrednosti,  $x_t$  neodvisna podatkovna točka in  $y_t$  odvisna podatkovna točka.

V primerih, ko je vrednost standardne napake nizka, privzamemo, da so podatki zanesljivi, zato jih lahko uporabljamo za nadaljnje analize. V primerih, ko je standardna napaka za posamezen niz podatkov visoka, pa niz vsebuje enega ali več podatkov, ki izrazito odstopajo od splošnega trenda, ki ga niz izkazuje. V tem primeru so nekateri podatki verjetno nepravilni

(ne ustrezajo dejanskemu stanju) in zato vidno vplivajo na potek regresijske premice, ki opisuje hitrost propadanja. Posamezen podatkovni niz smo ocenili kot zanesljiv, v kolikor je bil izpolnjen pogoj:

$$\frac{SE}{y} \leq 0,3 \quad (5.15)$$

V primerih, kjer pogoj ni bil izpolnjen, smo z namenom izboljšanja zanesljivosti rezultatov regresijskih premic iz posameznega niza podatkov odstranili tisto vrednost  $y_i$ , ki je najbolj vplivala na velikost standardne napake oziroma se je ta po odstranitvi vrednosti najbolj zmanjšala. Z namenom zagotovitve, a) da posamezen niz podatkov nima več kot enega nezanesljivega podatka in b) da odstranitev tega podatka vidno zniža (za vsaj 30%) izhodiščno vrednost standardne napake, smo predpisali pogoj:

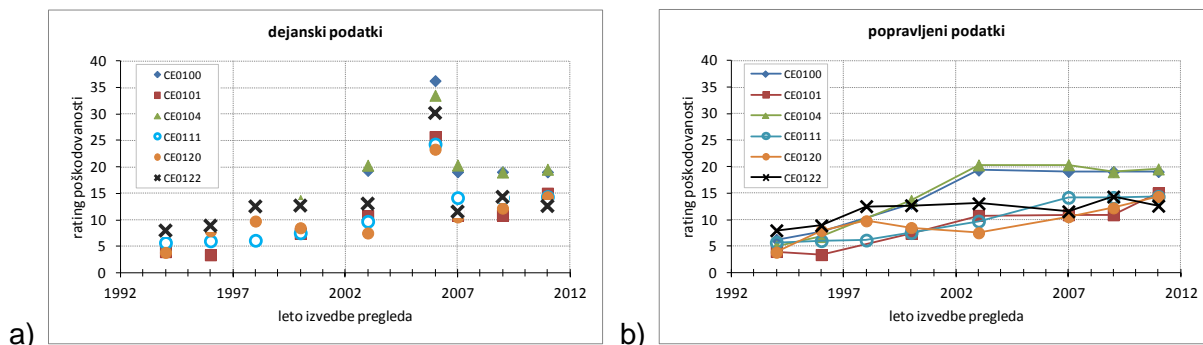
$$130\% \cdot (SE_1/\bar{y}) \leq (SE_0/\bar{y}) \quad (5.16)$$

kjer je  $SE_1$  standardna napaka po odstranjenem podatku, ki najbolj izstopa,  $SE_0$  pa izhodiščna vrednost standardne napake pri vseh upoštevanih podatkih v nizu. Če pogoj (5.16) ni izpolnjen, je nezanesljivih vrednosti v nizu podatkov več. V tovrstnih primerih odstranitev enega samega podatka v nizu ne bi bistveno vplivala na izboljšanje kakovosti regresijske premice, odstranitev več podatkov pa bi pomenil prevelik poseg v bazo podatkov in s tem vpliv na končni rezultat. Zato takšnih nizov podatkov v nadaljnjih analizah nismo upoštevali.

Z izvedbo opisanega postopka smo bistveno izboljšali zanesljivost podatkov, ki smo jih uporabili za nadaljnjo analizo. Na sliki 5.4.a) so prikazane vrednosti ratingov za osem mostov, na katerih je bilo med leti 1994 in 2011 izvedenih devet rednih in glavnih pregledov. V letu 2006 je izvajalec pregledov vsem mostovom določil izjemno visoke vrednosti ratingov poškodovanosti, ki so vidno odstopale od trenda vrednosti tako preteklih kot tudi kasnejših pregledov. Z uporabo zgoraj opisanega postopka ter enačb (5.15) in (5.16) smo vrednosti za leto 2006 iz obravnavanih nizov podatkov izločili, s tem pa vrednosti standardnih napak bistveno znižali (posameznim nizom, glede na njihovo izhodiščno vrednost, tudi do 70%). Končni rezultati obdelanih nizov podatkov so prikazani na sliki 5.4.b).

Analiza celotne zbirke podatkov je pokazala, da 2599 od skupno 4956 nizov podatkov (približno 52%) izpolnjuje pogoj enačbe (5.15). Preostale nize smo modificirali tako, da smo iz niza izločili podatek, ki najbolj odstopa od z linearno regresijo določenega trenda (za ta podatek sodimo, da je najbolj nezanesljiv), s tem pa zadostili pogoju enačbe (5.16) za večino preostalih obravnavanih nizov (približno 41% celotne baze podatkov). Tako smo ocenili, da je za nadaljnjo analizo primernih 93% vseh nizov podatkov, od preostalih 7% pa smo

ugotovili, da 4% niso izpolnili nobenega izmed pogojev (5.15) in (5.16), 3% nizov pa so imeli prekratek niz podatkov (manj kot tri podatkovne točke) za nadaljnjo analizo.



Slika 5.4: Primeri naraščanja ratinga poškodovanosti za 8 objektov med leti 1993 in 2011: a) dejanski podatki pregledov, b) po odstranitvi skupine podatkov, ki najbolj odstopajo od regresijske premice, v nizu (v vseh nizih je zabeležen leta 2006 in je najverjetneje posledica nezanesljive presoje ocenjevalca v tem letu)

Figure 5.4: Examples of condition ratings for 8 individual bridges between 1993 and 2011 for: a) Actual inspection data, b) Processed data, where the rating values recorded in 2006 are removed (inconsistency of trend is judged to be a consequence of inspector's unreliable judgment)

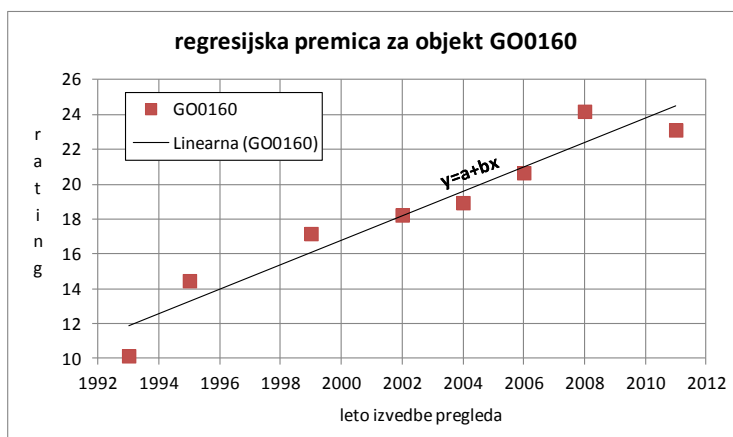
### 5.2.5 Določitev hitrosti propadanja v odvisnosti od upoštevanih vplivov

Hitrost propadanja posameznih vrst objektov kot celot ter njihovih posameznih konstrukcijskih sklopov je pomemben parameter pri napovedovanju spreminjanja stanja objekta ali njegovega dela, zato želimo določiti njegove vrednosti glede na predhodno določene vplive. Pri tem objekte razdelimo v skupine po posameznih kombinacijah izbranih vplivov, znotraj vsake skupine pa jih na podlagi njihovega ratinga poškodovanosti razvrstimo še v enega izmed štirih kakovostnih stanj. Celotna analiza objektov je tabelarično predstavljena v PRILOGI A in internem poročilu (Kušar in Šelih, 2013). Iz nje je razvidno, da obstaja možnih kar 180 različnih kombinacij vplivov in kakovostnih stanj, pri čemer pa veliko število kombinacij ne ustreza nobenem izmed obravnavanih objektov, torej gre za prazne množice.

Za vsak objekt in njegove posamezne konstrukcijske sklope smo nizu ratingov poškodovanosti določili regresijske premice (slika 5.5), pri čemer nas je zanimal predvsem njihov naklon oz. povprečna letna stopnja večanja poškodovanosti,  $b_p$ , ki jo za vsak niz podatkov  $p$  določimo z izrazom:

$$b_p = \frac{\sum_{t=1}^s (x_{p,t} - \bar{x}_p) \cdot (y_{p,t} - \bar{y}_p)}{\sum_{t=1}^s (x_{p,t} - \bar{x}_p)^2} \quad (5.17)$$

kjer je  $x_{p,t}$  leto izvedbe pregleda in  $y_{p,t}$  vrednost ratinga poškodovanosti v letu  $t$  za niz  $p$ ,  $\bar{x}_p$  in  $\bar{y}_p$  pa sta njuni srednji vrednosti.



Slika 5.5: Primer regresijske premice za rating poškodovanosti

Figure 5.5: Example of condition rating regression line

Po izračunu povprečne letne stopnje večanja poškodovanosti posameznih nizov podatkov, smo objektom in konstrukcijskim sklopom z enakimi kombinacijami vplivov in velikostnimi redi poškodovanosti določili povprečno hitrost večanja  $\bar{b}$ :

$$\bar{b}(M, P, Cl, F, Ks, Cr) = \frac{\sum_{i=1}^r b_{p,i}}{r} \quad (5.18)$$

$$r = r(M, P, Cl, F, Ks, Cr) \quad (5.19)$$

kjer je  $Cr$  trenutna stopnja poškodovanosti (interval),  $r$  pa število nizov z enako kombinacijo vplivov in stopnjo poškodovanosti.

Na opisani način smo za vse kombinacije obravnavanih vplivov in stopenj poškodovanosti dobili vrednosti letnih stopenj slabšanje stanja objekta, kot je za primer armiranobetonskih mostov v celinskem podnebju prikazano v preglednici 5.7 **Napaka! Vira sklicevanja ni bilo mogoče najti.** Stopnje poškodovanosti smo razdelili na štiri kakovostna stanja, ki jih opredelimo opisno, in sicer kot odlično, zelo dobro, dobro in zadovoljivo. Ko stopnja poškodovanosti preseže navedena kakovostna stanja, lahko govorimo o nezadovoljivem in kasneje celo o kritičnem stanju konstrukcijskih sklopov oziroma objekta kot celote.

Preglednica 5.7: Povprečne letne hitrosti večanja poškodovanosti za a) cestišča armiranobetonskih mostov, b) podkonstrukcije armiranobetonskih mostov in c) vse konstrukcijske sklope armiranobetonskih mostov v celinskem podnebj

Table 5.7: Average deterioration rates for a) reinforced concrete bridge decks, b) reinforced concrete substructures, c) reinforced bridges, located in continental climate, for light (L), medium (M) and heavy (H) traffic load.

a)

MATERIAL (M) FUNKCIJA (F) KONSTR. S. (Ks)	PROMETNA OBREMENITEV (P)	TRENTNA STOPNJA POŠKOD. (Cr)	ŠT. ANALIZIRANIH OBJEKTOV (r)	VEČANJE POŠKOD. (b) [leto <sup>-1</sup> ]
ARMIRANOBETONSKI MOST - CESTIŠČE	L	[0~2)	144	0,09
		[2~4)	158	0,22
		[4~6)	67	0,32
		[6~8]	32	0,50
	M	[0~2)	59	0,12
		[2~4)	70	0,21
		[4~6)	28	0,32
		[6~8]	14	0,45
	H	[0~2)	48	0,09
		[2~4)	54	0,22
		[4~6)	18	0,26
		[6~8]	12	0,45

b)

ARMIRANOBETONSKI MOST - PODKONSTRUKCIJA	L	[0~3)	109	0,13
		[3~6)	137	0,21
		[6~9)	105	0,37
		[9~12]	83	0,75
	M	[0~3)	53	0,09
		[3~6)	78	0,19
		[6~9)	42	0,32
		[9~12]	18	0,46
	H	[0~3)	46	0,14
		[3~6)	87	0,21
		[6~9)	34	0,28
		[9~12]	16	0,60



c)

ARMIRANOBETONSKI MOST – VSI SKLOPI	L	[0~5)	56	0,33
		[5~10)	72	0,48
		[10~15)	92	0,65
		[15~20]	182	1,18
	M	[0~5)	27	0,29
		[5~10)	40	0,47
		[10~15)	38	0,62
		[15~20]	66	1,04
	H	[0~5)	9	0,31
		[5~10)	43	0,57
		[10~15)	34	0,58
		[15~20]	49	0,92

Intervali kakovostnih stanj so za posamezne konstrukcijske sklope kot tudi objekte kot celote določeni različno, kot je razvidno tudi iz primerov v preglednici 5.7. Zgornjo mejo zadovoljivega kakovostnega stanja smo za posamezen sklop določili pri tisti vrednosti ratinga poškodovanosti, pri kateri po presoji strokovnjakov prične prihajati do prekomerne hitrosti propadanja materiala in s tem vgrajenih elementov. Za sklop cestišča so izbrani intervali dolgi dve enoti ratinga poškodovanosti, za spodnjo in zgornjo konstrukcijo tri enote, za objekt kot celoto pa je izbrani interval posameznega kakovostnega stanja dolg pet enot. Zgornjih vrednosti zadovoljivega kakovostnega stanja, določenih s stopnjo poškodovanosti  $C_r$  (za cestišče 8, za podkonstrukcijo in prekladno konstrukcijo 12 in objekt kot celoto 20) obravnavani premostitveni objekti in njihovi posamezni konstrukcijski sklopi ne smejo bistveno preseči, v kolikor želi njihov upravljalca finančna sredstva namenjena vzdrževanju izkoristiti optimalno ter predvsem razpolagati s fondom objektov, ki so varni za uporabo.

Za potrebe nadaljnje analize smo dobljene rezultate uporabili za izračun časa, potrebnega za doseg določene (vnaprej izbrane) stopnje poškodovanosti. Čas smo določili kot odvisno spremenljivko stopnje poškodovanosti ( $C_r$ ) in ga definirali z odsekoma linearno funkcijo:

za cestišče:

$$t(Cr) = \left\{ \begin{array}{l} \frac{Cr}{\bar{b}_{[0,2)}}; Cr \in [0,2) \\ \frac{2}{\bar{b}_{[0,2)}} + \frac{Cr-2}{\bar{b}_{[2,4)}}; Cr \in [2,4) \\ \frac{2}{\bar{b}_{[0,2)}} + \frac{2}{\bar{b}_{[2,4)}} + \frac{Cr-4}{\bar{b}_{[4,6)}}; Cr \in [4,6) \\ \frac{2}{\bar{b}_{[0,2)}} + \frac{2}{\bar{b}_{[2,4)}} + \frac{2}{\bar{b}_{[4,6)}} + \frac{Cr-2}{\bar{b}_{[6,8)}}; Cr \in [6,8) \end{array} \right\} \quad (5.20)$$

za podkonstrukcijo in prekladno konstrukcijo:

$$t(Cr) = \left\{ \begin{array}{l} \frac{Cr}{\bar{b}_{[0,3)}}; Cr \in [0,3) \\ \frac{3}{\bar{b}_{[0,3)}} + \frac{Cr-3}{\bar{b}_{[3,6)}}; Cr \in [3,6) \\ \frac{3}{\bar{b}_{[0,3)}} + \frac{3}{\bar{b}_{[3,6)}} + \frac{Cr-6}{\bar{b}_{[6,9)}}; Cr \in [6,9) \\ \frac{3}{\bar{b}_{[0,3)}} + \frac{3}{\bar{b}_{[3,6)}} + \frac{3}{\bar{b}_{[6,9)}} + \frac{Cr-9}{\bar{b}_{[9,12)}}; Cr \in [9,12) \end{array} \right\} \quad (5.21)$$

za celoten objekt:

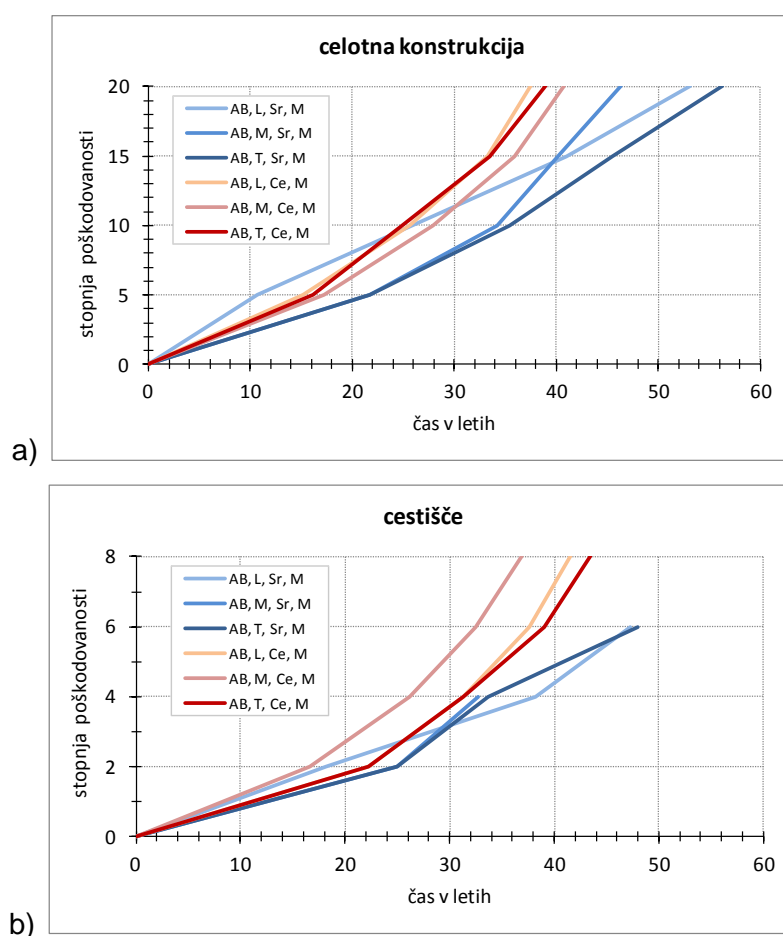
$$t(Cr) = \left\{ \begin{array}{l} \frac{Cr}{\bar{b}_{[0,5)}}; Cr \in [0,5) \\ \frac{5}{\bar{b}_{[0,5)}} + \frac{Cr-5}{\bar{b}_{[5,10)}}; Cr \in [5,10) \\ \frac{5}{\bar{b}_{[0,5)}} + \frac{10}{\bar{b}_{[5,10)}} + \frac{Cr-10}{\bar{b}_{[10,15)}}; Cr \in [10,15) \\ \frac{5}{\bar{b}_{[0,5)}} + \frac{10}{\bar{b}_{[5,10)}} + \frac{15}{\bar{b}_{[10,15)}} + \frac{Cr-15}{\bar{b}_{[15,20)}}; Cr \in [15,20) \end{array} \right\} \quad (5.22)$$

Vrednosti  $t(Cr)$ , ki jih določimo z enačbami (5.20), (5.21) in (5.22) lahko prikažemo v obliki diagramov, ki podajajo čas, potreben za povečanje stopnje poškodovanosti iz obstoječe stopnje do izbrane, vnaprej določene vrednosti. Ker so koeficienti  $\bar{b}$  določeni kot povprečne vrednosti hitrosti propadanja na pripadajočih intervalih, vsebuje določitev časov s pomočjo izraza (5.22) negotovost, ki se ji zaradi narave obstoječega načina pridobivanja podatkov o stanju objektov ne moremo izogniti.

### 5.2.5.1 Vpliv prometne obremenitve

Za vse razpoložljive kombinacije upoštevanih vplivov smo ugotavljali vpliv prometne obremenitve na večanje poškodovanosti objektov, pri čemer smo analizirali ratinge

poškodovanosti posameznih konstrukcijskih sklopov kot tudi objektov kot celot. Vhodne podatke in rezultate analize predstavljamo v celoti v Kušar in Šelih (2013), na diagramih slike 5.6 pa je prikazan povzetek rezultatov za armiranobetonske mostove v grafični obliki (zaradi njihovega velikega števila v primerjavi z ostalimi vrstami objektov so rezultati njihovih analiz najbolj reprezentativni). Diagrama prikazujeta le obnašanje objektov na območju primorskega in celinskega podnebja, saj na področjih, kjer prevladuje gorsko podnebje, cest z večjimi prometnimi obremenitvami ni.



a)

b)

Slika 5.6: Večanje stopnje poškodovanosti s časom v odvisnosti od izbrane kombinacije vplivov za: a) celotno konstrukcijo objekta, b) cestišče

Figure 5.6: Deterioration development with time as a function of selected parameters of influence for: a) bridge, b) bridge deck

Kot je razvidno iz rezultatov za armiranobetonske mostove (slika 5.6.a), je hitrost propadanja objektov v celinskem podnebju skoraj identična za vse tri kategorije prometne obtežbe, medtem ko se ti za primorski podnebni tip nekoliko razlikujejo. Pri slednjem propadajo najhitreje analizirani mostovi s srednje težko prometno obtežbo. Nadalje smo hitrost

propadanja v odvisnosti od izbranih vplivov preverjali tudi za posamezne konstrukcijske sklope. Pri teh je najbolj verjetno, da se bo vpliv prometne obtežbe na hitrost propadanja pokazal na elementih cestišča, saj so prometni obremenitvi neposredno izpostavljeni. Rezultati analiziranih podatkov tudi v tem primeru kažejo neodvisnost hitrosti propadanja cestišča od prometne obtežbe, kot je za primer cestišč armiranobetonskih mostov prikazano na sliki 5.6.b. V prikazanem primeru opazimo zelo podoben razvoj hitrosti propadanja za objekte, ki stojijo na območju primorskega podnebja, medtem ko se rezultati za celinsko podnebje med seboj nekoliko razlikujejo. Pri slednjih je najhitrejše propadanje cestnih elementov srednje obremenjenih mostov, medtem ko mostovi obremenjeni z lahko in težko prometno obtežbo propadajo s skoraj identično stopnjo.

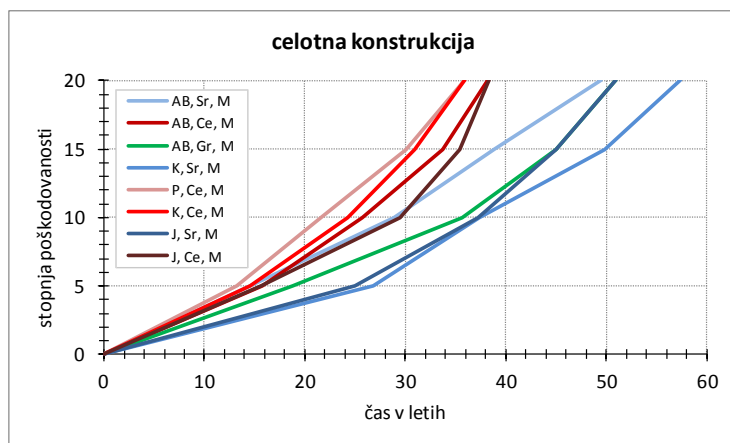
Iz analize vrednosti ratingov izhaja, da je hitrost propadanja objektov kot celot in njihovih posameznih konstrukcijskih sklopov skoraj neodvisna od prometne obtežbe. Razlike, ki smo jih opazili pri propadanju objektov z različno prometno obtežbo, lahko pripišemo merilni negotovosti uporabljene metode. Domnevamo lahko, da je bila v procesu projektiranja upoštevana ustrezna koristna obtežba, da so bili v obrabni sloj vozišč vgrajeni materiali z ustreznimi lastnostmi (agregati, bitumni, ...) ter da je bila med gradnjo dosledno upoštevana projektna dokumentacija, predpisani postopki za izvajanje del ter zagotovljena ustrezna kontrola kakovosti izvajanja del. Dober pokazatelj navedenih trditev so cestišča premostitvenih objektov na državni cesti G1, Jurovci – Gruškovje, ki je do nedavnega veljala za eno najbolj obremenjenih cest v državi. Analiza podatkov kaže, da je na obravnavanem odseku hitrost propadanja cestnih elementov med najmanjšimi med vsemi analiziranimi objekti v celinskem podnebju (Kušar in Šelih, 2013). Posledično v nadaljevanju upoštevane kombinacije vplivov analiziramo neodvisno od prometnih obremenitev.

### **5.2.5.2 Vpliv podnebja**

Primerjavo vpliva podnebja na propadanje smo izvedli le za armiranobetonske, kamnite in jeklene mostove, saj so prednapeti mostovi grajeni v Sloveniji izključno na območju celinskega podnebnege tipa.

Na podlagi ugotovitev predhodnega poglavja smo podatke analizirali neodvisno od prometne obtežbe. Rezultati analiziranih podatkov kažejo (slika 5.7), da je propadanje objektov, ki stojijo na območju primorskega podnebja (modre krivulje) vidno počasnejše od propadanja tistih, ki stojijo na območju celinskega podnebja (rdeče krivulje). Vpliv gorskega podnebja (zelena krivulja) smo lahko ugotavljali le za armiranobetonske mostove. Zanje rezultati kažejo, da ti v začetnem obdobju propadajo s podobno hitrostjo kot objekti na območju

primorskega podnebja, ob višji stopnji poškodovanosti pa začno propadati nekoliko hitreje. V primerjavi z obnašanjem objektov, ki so locirani na območju celinskega podnebja, je njihovo propadanje počasnejše, kar lahko pripišemo bistveno manjšemu letnemu številu ciklov zmrzovanja in taljenja, ki najbolj vpliva na propadanje materialov.



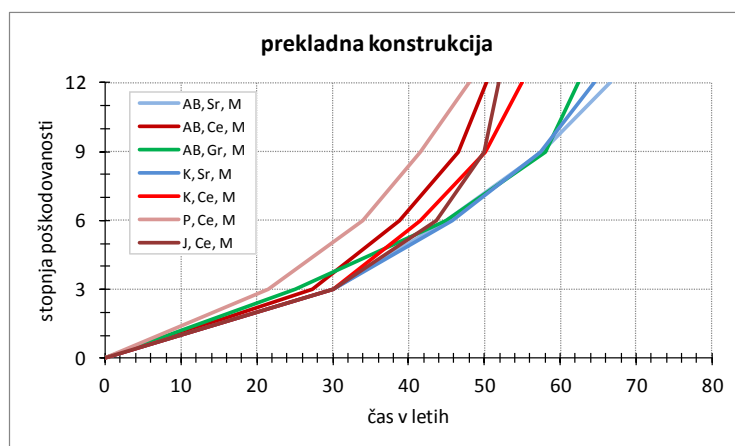
Slika 5.7: Večanje stopnje poškodovanosti s časom v odvisnosti od vrste podnebja

Figure 5.7: Deterioration development with time as a function of climate type

Večanje stopnje poškodovanosti s časom smo preverili tudi za posamezne konstrukcijske sklope. Posebno pozornost posvetimo rezultatom za prekladne konstrukcije, saj so ti izdelani iz štirih vrst materiala, medtem ko so podkonstrukcije le kamnite ali armiranobetonske (jekleni, prednapeti in armiranobetonski objekti imajo vsi armiranobetonsko podkonstrukcijo). Značilnosti poteka propadanja prekladnih konstrukcij so v splošnem zelo podobne kot pri propadanju celotnih objektov; opazimo torej hitrejše propadanje v celinskem in počasnejše propadanje v primorskem in gorskem podnebju, hkrati pa rezultati kažejo, da postane propadanje jeklenih konstrukcij sčasoma zelo intenzivno (slika 5.8). Pregledi posameznih zapisnikov kažejo, da se stanje jeklenih objektov prične intenzivno slabšati, ko protikorozijska zaščita ne opravlja več svoje funkcije, hkrati pa zaradi netesnosti elementov cestišča prihaja do zamakanja prekladne konstrukcije. Posledica je hitro napredovanje korozije, še posebej na spodnjih pasnicah jeklenih profilov (slika 5.9). Pregledovalci ob vsakokratnem pregledu opazijo vidno poslabšanje stanja, zaradi česar rating poškodovanosti konstrukciji v takih primerih strmo raste.

Pri armiranobetonskih in prednapetih konstrukcijah tako intenzivno slabšanje stanja skoraj ni mogoče. Natezna armatura je razporejena po celotni površini prekladne konstrukcije, zato začetno lokalno odpadanje zaščitnega sloja in s tem izpostavljenost armature zunanjim vplivom večinoma ne povzroči pospešenega korodiranja celotne vgrajene armature. Z dokaj enakomerno hitrostjo propadajo tudi kamniti objekti, saj je njihovo slabšanje stanja v veliki

meri vezano na propadanje in posledično izpadanje malte iz fug, medtem ko le redko opazimo propadanje kamnitih gradnikov. Hitro slabšanje njihovega stanja evidentiramo le v primerih pričetka izpadanja celotnih kamnitih gradnikov iz konstrukcije (slika 5.10), vendar so tovrstni primeri redki. Opisane poškodbe so navadno hitro sanirane, zato na potek krivulje propadanja nimajo večjega vpliva. Natančneje analiziramo vpliv vrste materiala na propadanje v nadaljevanju.



Slika 5.8: Spremembe stopnje poškodovanosti s časom prekladnih konstrukcij v odvisnosti od podnebnege tipa in vrste materiala

Figure 5.8: Deterioration development with time for bridge superstructures as a function of climate type and material type



Slika 5.9: Korozija spodnje pasnice na jeklenem mostu GO 0120

Figure 5.9: Bottom flange corrosion on bridge GO 0120



Slika 5.10: Propadla malta in izpadli kamni iz kamnitega oboka mostu LJ 0289

Figure 5.10: Deteriorated mortar and loose stone blocks on the stone arch of bridge LJ 0289

### 5.2.5.3 Vpliv vrste materiala

Na območju RS so premostitveni objekti oziroma natančneje njihove prekladne konstrukcije grajene iz sedmih različnih vrst materiala ali njihovih kombinacij. Kot je bilo že navedeno v začetku poglavja 5.2.3, je število lesenih in sovprežnih objektov premajhno, da bi njihova analiza dala reprezentativne rezultate. Pri tem so vsi leseni mostovi približno enako (dokaj močno) poškodovani, za sovprežne mostove pa podatki o njihovem stanju za nekatera leta niso zabeleženi. Navedeno onemogoči izvajanje kakršnihkoli analiz za te vrste objektov. Na sliki 5.11 so grafično prikazani rezultati za območje celinskega podnebja, v katerem stoji velika večina obravnavanih objektov in so rezultati najbolj reprezentativni, medtem ko so rezultati za primorsko in gorsko podnebje predstavljeni v Kušar in Šelih (2013).

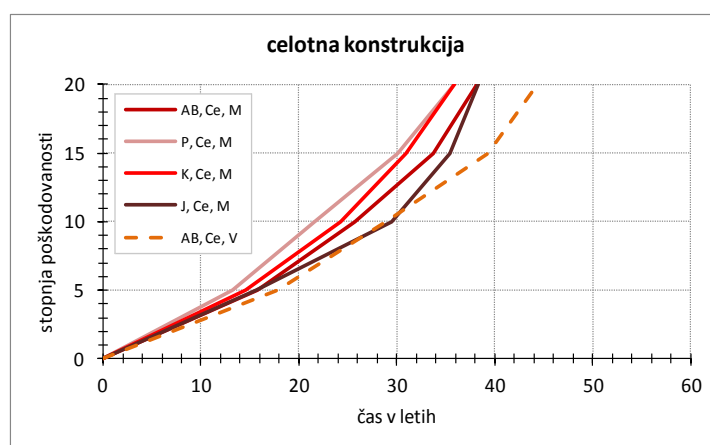
Najpomembnejša ugotovitev analize je, da pri določanju hitrosti propadanja objektov ne smemo obravnavati kot celote, temveč jih je potrebno analizirati po posameznih konstrukcijskih sklopih. Na podlagi rezultatov za celotne objekte bi lahko presodili, da armiranobetonski podvozi in nadvozi propadajo najpočasneje in bodo najkasneje potrebni sanacijskih ukrepov. Natančnejši pregled spreminjanja ratingov posameznih delov objektov s časom pa pokaže, da ima na spremembo vrednosti ratingov podvozov in nadvozov kot celot največji vpliv počasnejše propadanje njihove podkonstrukcije, medtem ko njihova cestišča in prekladne konstrukcije propadajo z enako hitrostjo kot mostovom. Zaključimo lahko, da je večina konstrukcijskih in nekonstrukcijskih elementov podvozov in nadvozov potrebnih sanacije v povprečju pri enaki starosti, kot to velja za ekvivalentne elemente mostov.

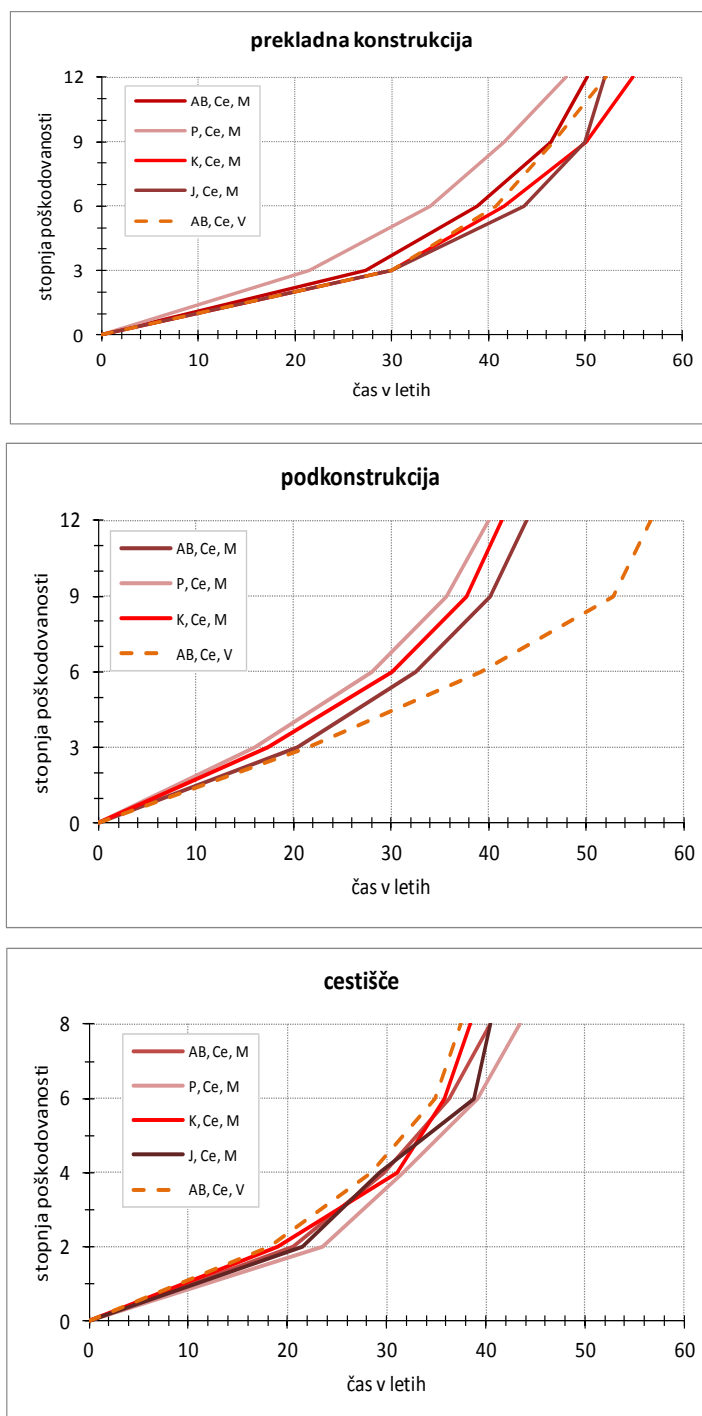
Večanje stopnje poškodovanosti prekladnih konstrukcij s časom je, ne glede na uporabljeni material, dokaj podobno. Analiza razpoložljivih podatkov kaže, da se stopnja poškodovanosti v začetni fazi veča nekoliko hitreje pri prednapetih objektih, vendar se ta razlika z večanjem poškodovanosti objektov manjša. Vse analizirane vrste prekladnih konstrukcij dosežejo stopnjo poškodovanosti, ki ji ustreza vrednost ratinga 12, pri približno 50 letih starosti. Kljub navedenim podobnostim opazimo pri jeklenih prekladnih konstrukcijah v primerjavi s propadanjem ostalih obravnavanih vrst teh konstrukcij pomembno razliko. Elementi jeklenih prekladnih konstrukcij pričnejo pri višji stopnji poškodovanosti (nad vrednostjo 9) propadati bistveno hitreje od ostalih vrst prekladnih konstrukcij. To ugotovitev lahko uporabimo pri planiranju učinkovitih sanacijskih ukrepov, saj lahko morebitno nekajletno (predolgo) odlašanje z izvedbo sanacijskih ukrepov pri njih povzroči hitrejšo odpoved posameznih elementov konstrukcije. Preostale tri vrste prekladnih konstrukcij glede na rezultate analize propadajo z bolj enakomerno hitrostjo in omogočajo planiranje izvedbe sanacijskih ukrepov za več let vnaprej.



Elementi cestišča propadajo s skoraj identično hitrostjo, ne glede na materialno vrsto konstrukcije, na katero so vgrajeni. Predhodno smo že ugotovili, da nanje ob odgovornem projektiranju in kakovostni izvedbi tudi prometna obtežba nima vpliva. Med izbranimi vplivi moramo pri določanju hitrosti propadanja cestnih elementov moramo torej upoštevati le učinek podnebja s svojimi vplivi.

Spodnja konstrukcija je pri armiranobetonskih, prednapetih in jeklenih objektih izdelana kot armiranobetonska, pri njihovih starejših izvedbah pa kot nearmirana betonska konstrukcija. Drugačen material spodnje konstrukcije je uporabljen le pri kamnitih objektih. Za jeklene konstrukcije nimamo podatka o njihovi stopnji propadanja pri ratingih poškodovanosti do 3 (vsi analizirani objekti imajo višji rating poškodovanosti spodnje konstrukcije), zaradi česar jih v tej analizi nismo mogli posebej obravnavati. Glede na njihovo enako zasnovo z armiranobetonskimi in prednapetimi bo v nadaljevanju predpostavljena enaka hitrost propadanja elementov spodnje konstrukcije za vse tri vrste objektov. Analizirani podatki kažejo zelo podoben potek propadanja za armiranobetonske, prednapete in presenetljivo tudi kamnite mostove. Pri slednjih smo glede na uporabljen tradicionalni material in način gradnje pričakovali nekoliko hitrejše propadanje, predvsem na račun izpiranja in izpadanja malte iz reg med gradniki, vendar temu ni tako. Obstaja realna možnost, da je bila velika večina kamnitih objektov že deležnih celovitih sanacij, v sklopu katerih so bile vgrajene sodobne malte z bistveno boljšimi materialnimi lastnostmi, kot so jih imele prvotne. Vidno odstopanje v hitrosti propadanja spodnjih konstrukcij glede na že obravnavane objekte lahko zaznamo pri rezultatih za armiranobetonske podvoze, nadvoze in viadukte, kar obravnavamo podrobneje v naslednjem poglavju.





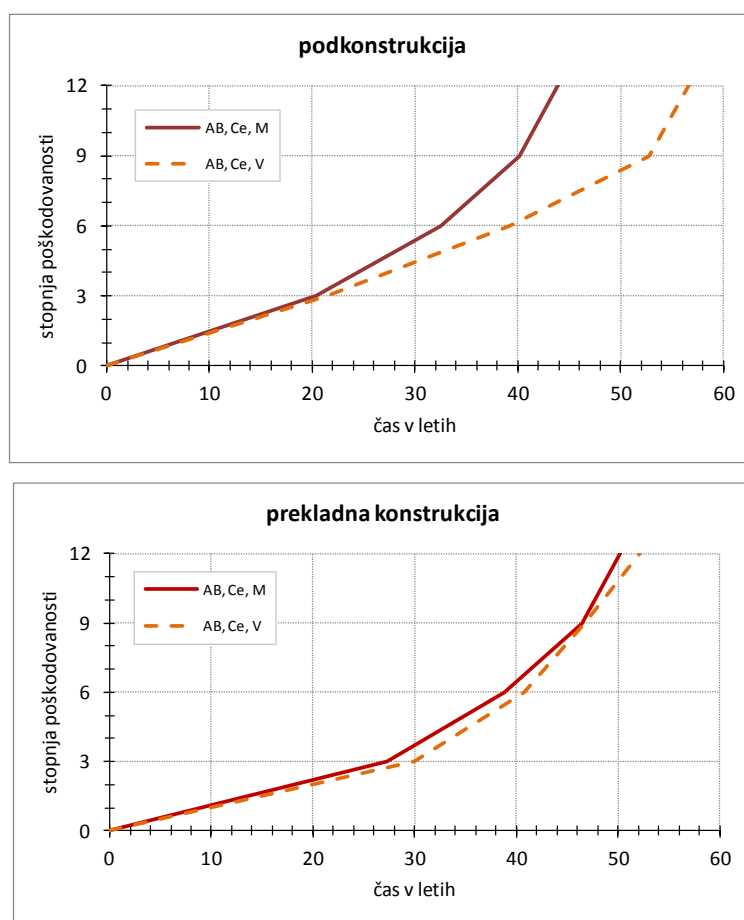
Slika 5.11: Večanje stopnje poškodovanosti objektov s časom v celinskem podnebjju v odvisnosti od materiala

Figure 5.11: Deterioration development over time in the continental climate as a function of material type

#### 5.2.5.4 Vpliv funkcije objekta

Na državnih cestah RS so mostovi grajeni iz vseh vrst materiala, medtem ko so podvozi,

nadvozi in viadukti v veliki večini primerov armiranobetonski. Vpliv tipa oziroma funkcije objekta na propadanje smo zato preverili za armiranobetonske objekte, ki stojijo v celinskem podnebjju. Pri tem smo analizirali podatke 708 mostov ter 99 podvozov, nadvozov in viaduktov. Podatke slednjih treh tipov objektov smo, kot je bilo že rečeno, obravnavali skupaj saj smatramo, da je njihova funkcija tehnično zelo podobna. Primerjava z vsemi vrstami objektov je prikazana že na sliki 5.11 predhodnega poglavja, na sliki 5.12 pa prikazujemo izključno rezultate za podkonstrukcijo in prekladno konstrukcijo za obravnavana tipa armiranobetonskih objektov. Za cestišča smo v predhodnih poglavjih že ugotovili, da je večanje njihove poškodovanosti odvisno le od podnebnih vplivov.



Slika 5.12: Večanje stopnje poškodovanosti armiranobetonskih objektov s časom v celinskem podnebjju v odvisnosti od funkcije objekta (most ali viadukt)

Figure 5.12: Deterioration development over time of reinforced bridges and passes in the continental climate as a function of structural type

Elementi podkonstrukcije pri mostovih zaradi vplivov vode, kot so abrazija, erozija, zmrzovanje in stalna visoka vlažnost propadajo vidno hitreje kot pri nadvozih, podvozih in viaduktih. Analiza razpoložljivih podatkov kaže, da slednji v povprečju dosežejo vrednost ratinga poškodovanosti 12 približno 13 let kasneje oziroma približno 25% počasnejše kot pri

mostovih. Vsaj manjši vpliv funkcije objekta na propadanje bi, zaradi stalno visoke vlažnosti v območju mostov, lahko bil prisoten tudi pri prekladnih konstrukcijah, vendar rezultati kažejo skoraj identično hitrost propadanja obeh skupin objektov.

## 5.2.6 Določitev hitrosti propadanja konstrukcijskim sklopom

Za potrebe predlaganega sistema za upravljanje s premostitvenimi objekti smo na podlagi analiziranih vplivov določili hitrost propadanja objektov za posamezno kombinacijo vplivov. Na podlagi ugotovitev poglavja 5.2.5 sodimo, da je potrebno stopnjo propadanja objektov določiti po posameznih konstrukcijskih sklopih in ne za objekt kot celoto. Preglednice in diagrame hitrosti večanja stopnje poškodovanosti po posameznih konstrukcijskih sklopih smo na podlagi razpoložljivih podatkov lahko izdelali za kombinacije vplivov, ki so prikazane v preglednici 5.8. Nadvozi, podvozi in viadukti so na območju RS, kot je bilo že navedeno, grajeni skoraj izključno kot armiranobetonske konstrukcije, medtem ko za mostove obravnavamo štiri vrste objektov. Za manjkajoče kombinacije vplivov s primorskim in gorskim podnebnim tipom predlagamo, da se za potrebe izračunov v nadaljevanju uporabljajo vrednosti, ki veljajo za celinski podnebni tip, kjer je hitrost propadanja objektov največja. Na ta način bomo na tako imenovani varni strani pri določanju prihodnjih stanj objektov s kombinacijami vplivov, za katere nimamo neposrednih podatkov.

Preglednica 5.8: Kombinacije vplivov za katere so hitrosti propadanja določene

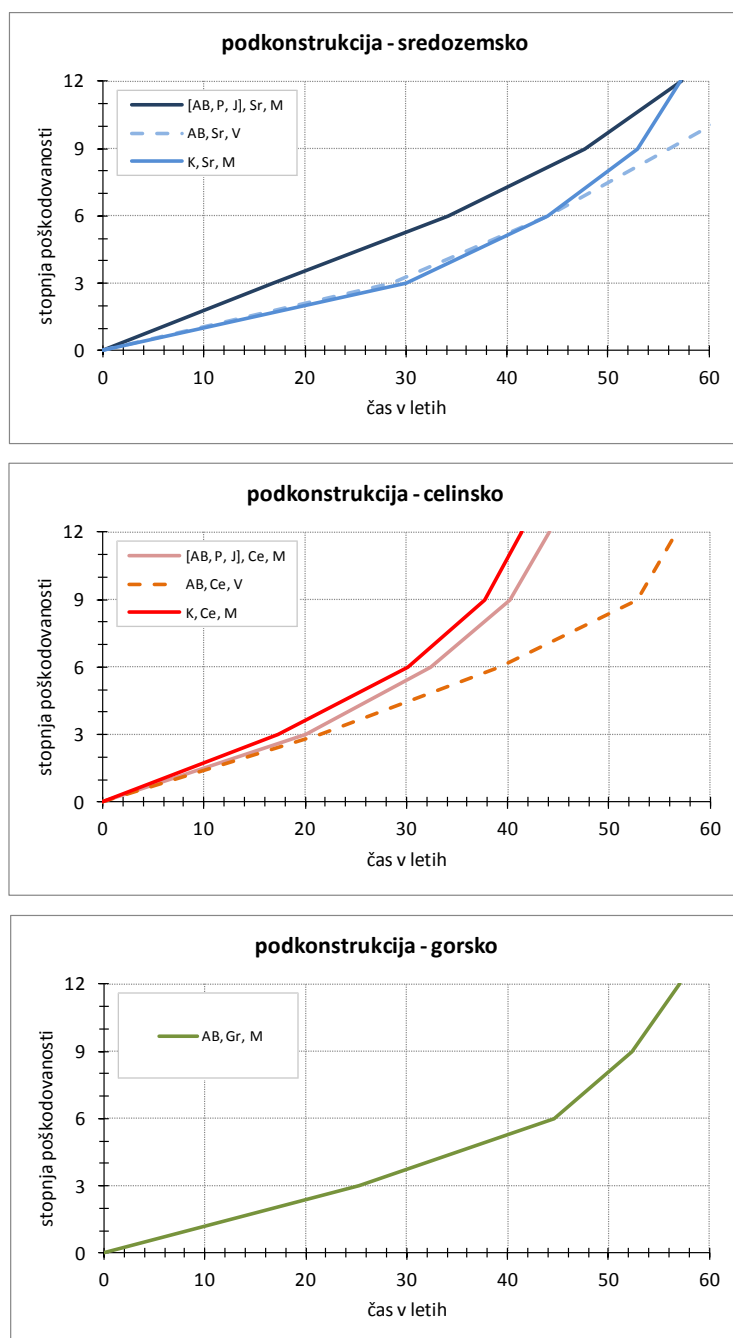
Table 5.8: Influences combinations for which the rates of deterioration are determined

		MATERIAL	PODNEBJE		
			primorsko	celinsko	gorsko
TIP OBJEKTA	most	AB	DA	DA	DA
		K	DA	DA	NE
		J	NE	DA	NE
		P	NE	DA	NE
	nadvoz podvoz	AB	DA	DA	NE

### 5.2.6.1 Propadanje spodnje konstrukcije

Spodnjo konstrukcijo sestavljajo temelji, oporniki, krila in ležiščna polica, v kolikor jo objekt ima. Ugotovili smo, da med vsemi vplivi na hitrost njihovega propadanja najbolj vpliva

funkcija objekta, v nekoliko manjši meri pa podnebni tip. Pri armiranobetonskih, prednapetih in jeklenih objektih so elementi spodnje konstrukcije izdelani iz betona ali armiranega betona, zato propadanje njihove spodnje konstrukcije obravnavamo skupaj oziroma z isto funkcijo. Kamniti objekti imajo spodnjo konstrukcijo izdelano iz kamnitega materiala in malte, zato propadajo z drugačnimi zakonitostmi kot betonski. Predvideno spreminjanje stopnje poškodovanosti spodnje konstrukcije s časom je za posamezne kombinacije vplivov prikazano na diagramih (slika 5.13).

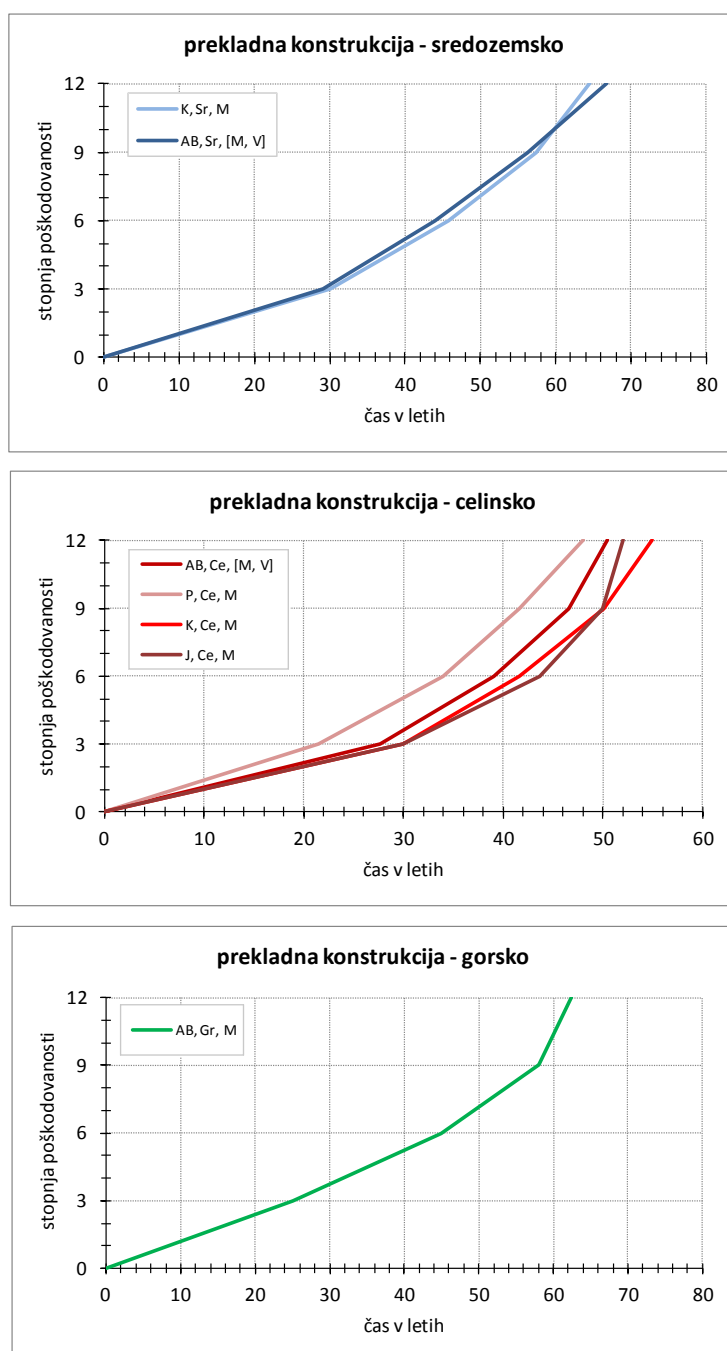


Slika 5.13: Večanje stopnje poškodovanosti spodnjih konstrukcij v odvisnosti od časa po posameznih kombinacijah vplivov

Figure 5.13: Deterioration development for bridge substructures over time as a function of climate type, material type and structural type

### 5.2.6.2 Propadanje prekladne konstrukcije

Večanje stopnje poškodovanosti prekladnih konstrukcij je med obravnavanimi vplivi v največji odvisno od podnebnega tipa, v bistveno manjši od vrsta materiala, medtem ko funkcija objekta na njihovo propadanje ne vpliva. Posledično smo podatke po posameznih podnebnih za oba tipa armiranobetonskih objektov združili, rezultat analize pa je njuna enotna funkcija stopnje propadanja (slika 5.14).



Slika 5.14: Večanje stopnje poškodovanosti prekladnih konstrukcij v odvisnosti od časa po posameznih kombinacijah vplivov

Figure 5.14: Deterioration development for bridge superstructures over time as a function of climate type and material type

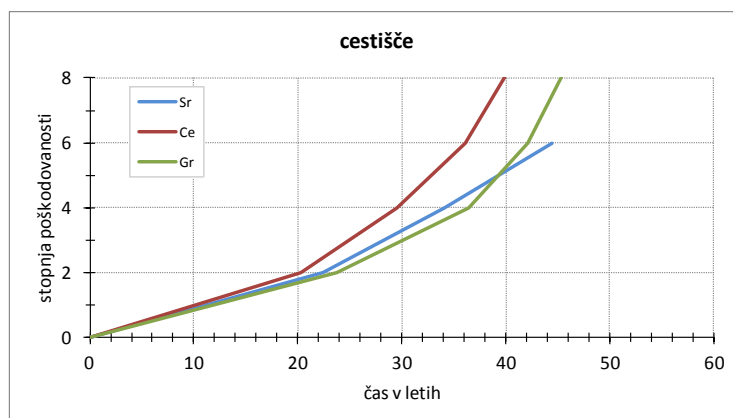
Prekladne konstrukcije se med seboj sicer močno razlikujejo tudi po statični zasnovi, saj so lahko izvedene kot polna plošča, votla plošča, obok, lok, z nosilci in podobno. Statične zasnove kot vpliva na trajnost nismo posebej obravnavali, saj imajo kamniti objekti vedno izveden obok, jekleni in prednapeti večinoma nosilce, armiranobetonski pa v največ primerih polne in votle plošče, le redko škatlaste ali druge prereze. Dodatna razčlenitev objektov glede na statično zasnovo zato ni bila smiselna, poleg tega za večino zasnov ne bi imeli na razpolago zadostno število podatkov za izvedbo ustrezne analize.

### **5.2.6.3 Propadanje cestiščnih elementov**

Cestiščne elemente tvorijo vozni in odstavní pasovi, hodniki, robniki in morebitne vzdolžne in prečne rege med posameznimi elementi. Kot smo ugotovili med analizo razpoložljivih podatkov, propadajo ti elementi neodvisno od vrste ali funkcije premostitvenega objekta ter neodvisno od prometne obtežbe. Na hitrost njihovega propadanja tako poleg kakovosti gradnje, ki sicer ni predmet obravnave, vpliva le podnebje. Vhodne podatke za vse vrste materialov, kategorije prometnih obtežb in obe funkciji objektov smo združili po posameznih podnebnih tipih in zanje dobili skupne funkcije naraščanja poškodovanosti po posameznih podnebnih (slika 5.15). Posledično te veljajo znotraj posameznega podnebnega tipa za vse objekte, ne glede na ostale obravnavane vplive.

Cestiščni elementi enako kot pri že obravnavanih konstrukcijskih sklopih najpočasneje propadajo v primorskem podnebjú, najhitreje pa v celinskem. Cestišča na Primorskem propadajo skoraj s konstantno hitrostjo ne glede na velikostni razred poškodovanosti, medtem ko se v celinskem in gorskem podnebjú poškodbe sčasoma začno večati hitreje. Ta pojav lahko pripišemo okoljskim pogojem, ki nastopijo pozimi, oz. pojavu ciklov zmrzovanja in tajanja materiala v prisotnosti posipnih soli (Šelih, 2010).





Slika 5.15: Naraščanje stopnje poškodovanosti cestiščnih elementov v odvisnosti od časa in podnebnega tipa

Figure 5.15: Deterioration development for bridge decks over time as a function of climate type

#### 5.2.6.4 Propadanje opreme

Kot opremo objektov skladno z obstoječo metodologijo pregledov v RS smatramo varovalne in zaščitne ograje na hodniku, odbojne ograje, razsvetljavo, morebitne infrastrukturne vode, ki potekajo po objektu ter dilatacije. Našteti elementi (z izjemo dilatacij) propadajo praktično neodvisno od izbranih vplivov, na njihovo slabšanje stanja vpliva predvsem kakovost izdelave. Tako na primer pocinkana kovinska ograja propada bistveno počasneje od kovinske, ki je premazana z antikorozijsko zaščito. V času večletnih terenskih opravljanj rednih, glavnih in detajlnih pregledov premostitvenih objektov smo prišli do zaključka, da so bistvena poslabšanja stanja opreme med posameznimi pregledi praktično v vseh primerih posledica mehanskih udarcev (Gostič in sod., 2011). Pri poškodbah ograd, razsvetljave in morebitne prometne signalizacije, so poškodbe večinoma posledica trčenj vozil, medtem ko so večje poškodbe dilatacij večinoma posledica udarcev rezil plugov ob izvajanju zimskih služb. Saniranje ali nadomestitev poškodovane opreme se izvaja skoraj izključno zaradi tovrstnih poškodb, medtem ko je sanacija zaradi dotrajanosti materiala potrebna le redko.

Posledično naraščanja stopnje poškodovanosti opreme zaradi propadanja materialov ni bilo smiselno analizirati, kot tudi ne morebitnega upoštevanja njenega propadanja pri določanju optimalnega časa za izvedbo sanacijskih ukrepov. Za poškodovano opremo je, s stališča upravljanja z objekti, najpomembneje določiti ali ta uporabnikom objekta še omogoča varno uporabo ali je poškodovana do mere, ko jo je iz varnostnih razlogov potrebno v najkrajšem času popraviti.

### 5.2.7 Izračun stopnje nadaljnjega propadanja

Diagrami večanja poškodovanosti s časom nazorno kažejo razlike v hitrosti propadanja posameznih konstrukcijskih sklopov v odvisnosti od izbranih vplivov kot tudi njihovo nadaljnje slabšanje stanja v odvisnosti od obstoječe stopnje poškodovanosti. Za potrebe izračuna vrednosti kriterija "Nadaljnje propadanje" so podatki tabelarično prikazani v PRILOGI B in Internem poročilu (Kušar in Šelih, 2013).

Iz tabel lahko za vsak konstrukcijski sklop posameznega objekta, v odvisnosti od njemu predpisane kombinacije vplivov in obstoječega stanja, določimo njegov predviden letni prirastek poškodovanosti ( $PP_i$ ). Indeks letne stopnje propadanja posameznega objekta izračunamo z izrazom:

$$\Delta I_{p,i} = PP_{pod,i} + PP_{pre,i} + PP_{ces,i} \quad (5.23)$$

kjer je  $PP_{pod,i}$  letni prirastek poškodb podkonstrukcije,  $PP_{pre,i}$  prekladne konstrukcije in  $PP_{ces,i}$  cestišča.

Vrednosti indeksov poškodovanosti, ogroženosti in stopnje propadanja skupaj določajo potrebo po sanaciji posameznega premostitvenega objekta in so glavni dejavnik pri njihovem razvrščanju po prioritetah.

## 5.3 VARNOST PRI UPORABI

Namen kriterija je izključno hitro evidentiranje nevarnih poškodb, ki bi ogrožale stabilnost in nosilnost objekta ali povzročale nevarnost za voznike pri prečkanju objekta kot so manjkajoča ograja, močnejše udarne jame, iztaknjene dilatacije in morebitne druge poškodbe, ki jih kot kritične za varnost evidentira pregledovalec. Tovrstne poškodbe so sicer pogosto ugotovljene že med rednimi pregledi cest in nato intervencijsko sanirane, kljub temu pa morajo biti, za primer njihove identifikacije v sklopu rednih pregledov premostitvenih objektov, obravnavane tudi v BMS.

Poškodbe, za katere pregledovalec presodi, da neposredno ogrožajo varnost uporabnikov ali stabilnost objekta (na primer zemeljski zdrci), morajo biti nemudoma javljene upravljalcu, ki jih sanira v najkrajšem možnem času. Pri tovrstnih poškodbah čakanje na končne analize v sklopu sistema za upravljanje ni dopustno, saj se pregledi objektov izvajajo večji del leta. V tem primeru lahko odlašanje popravila v skrajnem primeru vodi k delni ali celotni porušitvi

objekta, ki ima lahko za posledico gmotno škodo ali celo izgubo človeških življenj. Objektov, za katere je bilo ugotovljeno, da varnosti pri uporabi nimajo zagotovljene, na omrežnem nivoju sistema ne obravnavamo. Po identifikaciji njihovega stanja lahko pričakujemo, da bodo njihove največje pomanjkljivosti odpravljene pred analiziranjem stanja omrežja za tekoče leto, s tem pa bodo dejanske vrednosti stopnje poškodovanosti in predvsem ogroženosti bistveno nižje, kot so bile v času izvedbe pregleda.

## **5.4 MOŽNOST OBVOZA IN STROŠKI UPORABNIKOV**

Pri upoštevanju stroškov uporabnikov in širše družbe, ki nastanejo kot posledica različnih vplivov premostitvenih objektov, moramo biti previdni. Pri doslednem upoštevanju vseh stroškov, ki jih lahko izvajanje sanacijskih del, zavora ali zgolj omejitev nosilnosti posameznega objekta ima na družbo, lahko ti stroški prekomerno vplivajo na sprejemanje končnih odločitev. Stroški uporabnikov in širše družbe lahko nastanejo zaradi različnih vplivov, med drugim zaradi (Woodward in sod., 2001):

- Porabe časa in energentov zaradi obvozov, kot posledice popolne zapore.
- Porabe časa in energentov zaradi zastojev, kot posledice delne zapore ali zoženja.
- Odsotnosti obvoza za osebna in/ali težka vozila (problema slednjih ne odpravijo niti začasni pontonski mostovi) tekom izvajanja sanacijskih del.
- Prepovedi uporabe premostitvenih objektov med izvajanjem sanacijskih del za pešce.
- Vpliva popravil objektov na pretočnost cestnega prometa na drugih lokacijah.
- Vpliva popravil objektov na druge oblike transporta, kot na primer železnice.
- Omejitve svetle višine spodnje ceste, kadar se dela izvajajo na nadvozih.
- Ekonomskih vplivov na trgovine in turistično ponudbo v okolici.
- Okoljevarstvenih vplivov na ljudi v neposredni okolici objekta v prenovi kot sta hrup in prah.

V literaturi se večinoma obravnavajo le stroški uporabnikov, medtem ko se stroške širše družbe zaradi izjemno težko določljivih vplivov glede na pregledano literaturo ne obravnava. Kljub temu že dosledno upoštevanje izključno stroškov uporabnikov v večini primerov močno preseže stroške sanacije posameznega objekta. V nekaterih primerih so stroški uporabnikov, ki nastanejo kot posledica izvajanja sanacijskih del na mostovih, tudi desetkrat višji od stroškov izvedene sanacije (Thoft-Christensen, 2009).

Kot stroške uporabnikov obravnavamo povečanje stroškov glede na stanje pred popravilom. Ti lahko nastanejo zaradi zastojev, ki so posledica predpisanega zmanjšanja hitrosti, zoženj ali polovičnih zavor, obvozov in omejitev nosilnosti (Virtala in Mannisto, 2001). Določitev

vrednosti časa voznikov je določalo več avtorjev (med drugim He in sod., 1997, Chen in Schonfeld, 2003), njihove ocene pa se razlikujejo za več kot 100% in to kljub dejstvu, da vsi obravnavajo vrednost časa za voznike v ZDA. Če želimo oceniti stroške voznikov zaradi izgubljenega časa, pa moramo poleg urne postavke poznati tudi količino časa, ki ga bodo vozniki izgubili zaradi obvoza ali le delnih zapor. Zaradi slednjih sicer pride le do zmanjšane pretočnosti, medtem ko je sama pot enako dolga. Al-Assar in sodelavci (2000) so ugotovili, da zoženje dvopasovnice za en pas pri povprečnem dnevnem prometu do 10.000 vozil praktično ne ustvarja zastojev, medtem ko so ti pri več kot 40.000 vozilih na dan že precejšnji. Za ustrezno izveden izračun moramo torej poznati tudi postavko povprečnega dnevnega prometa (Šelih in sod., 2008). Finci so v okviru projekta ETSI (Jutila in Sundquist, 2007) izdelali enačbe za izračun stroškov zastojev ločeno za izgubljeni čas in dodatne obratovalne stroške vozil. Za izračun prvih moramo poleg količine prometa in vrednosti časa na enoto poznati še dolžino poti, na katero izvajanje del vpliva, običajno povprečno hitrost vozil in povprečno hitrost v primeru delnih zapor ali obvozov. Za izračun dodatnih obratovalnih stroškov pa moramo poznati še obratovalne stroške za osebna in tovorna vozila ter morebitne obratovalne stroške blaga v transportu. Nekateri avtorji predlagajo tudi upoštevanje povečane nevarnosti prometnih nesreč kot posledice delovnih zapor (Woodward in sod., 2001, Elbehairy, 2007, Thoft-Christensen, 2009), vendar je za njihov izračun potrebno imeti na razpolago še dodatne podatke.

Natančnost izračuna stroškov uporabnikov je v prvi vrsti odvisna od razpoložljivih podatkov, hkrati pa tudi od zahtev izbranega sistema za upravljanje. V kolikor želimo stroške uporabnikov razdeliti le v posamezne velikostne razrede, je izračun lahko bistveno enostavnejši, kot če nas zanimajo točne vrednosti stroškov.

#### **5.4.1 Izračun dnevnih stroškov uporabnikov**

Sistem za upravljanje s premostitvenimi objekti temelji na večih kriterijih, na podlagi katerih presojava upravičenost popravila dela državne ceste. Na podlagi izbranih kriterijev ter njihovih medsebojnih pomembnosti nato razvrstimo objekte oz. izdelamo njihovo prednostno lestvico. Kot prva vključimo dva kriterija, ki opisujeta vpliv zaprtja ceste zaradi popravila: možnost obvoza in stroške uporabnikov. Na podlagi njunih vrednosti je posamezen objekt lahko razvrščen višje na prednostno lestvico, v kolikor so ocenjeni stroški uporabnikov zaradi zapore objekta za promet zelo visoki ali če zapora prometa prek objekta pomeni celo odrezanost nekaterih območij od cestnega omrežja.

Določanje obravnavanih stroškov je konservativno; v računu ne upoštevamo vrednosti

izgubljenega časa voznikov zaradi obvozov ali drugih posrednih stroškov, temveč izključno obratovalne stroške vozil. Ti so odvisni od dolžine obvoza, povprečnega letnega dnevnega prometa (PLDP) in vrednosti kilometrine. Za izračun dnevnega stroška uporabnikov predlagamo sledeč izraz:

$$S_{up} = L_{ob} \cdot (PLDP_{ov} \cdot k_{ov} + PLDP_{ab} \cdot k_{ab} + PLDP_{ts} \cdot k_{ts} + PLDP_{tt} \cdot k_{tt} + PLDP_{tpv} \cdot k_{tpv}) \quad (5.24)$$

kjer je

$L_{ob}$  dolžina obvoza,

$PLDP_i$  povprečni dnevni promet in

$k_i$  obratovalni stroški (kilometrini) za:

- $i=ov$  osebna vozila in tovorna vozila do 3,5 t ,
- $i=ab$  avtobuse,
- $i=ts$  srednji tovorni promet od 3,5 do 7 t,
- $i=tt$  težki tovorni promet 7 do 12 t in
- $i=tpv$  tovorni promet s prikolicami in vlačilci nad 12 t.

Za dolžino obvoza privzamemo razliko v dolžini med obvozno potjo in običajno opravljeno potjo, ko na premostitvenem objektu ni omejitev. Povprečni letni dnevni promet za posamezno skupino vozil se pridobi iz letnih biltenov, ki jih izdaja DRSC in so dostopni na njihovi spletni strani ([www.dc.gov.si](http://www.dc.gov.si)). Kilometrini oziroma natančneje obratovalni stroški vozil za opravljen kilometer vožnje za posamezne skupine vozil pa z izjemo osebnih vozil ni zakonsko določena. Zaradi navedene praznine je v letu 2008 takratno Ministrstvo za promet na pobudo Gospodarske zbornice Slovenije in Obrtne zbornice Slovenije naročilo izdelavo kalkulacije stroškov tovornega prometa (Hočevar, 2008). Kalkulacija zajema devet postavk in sicer stroške goriva, dela, amortizacije, vzdrževanja, obrabe gum, zavarovanja, cestnine, financiranja in upravno prodajne stroške. Nekateri izmed navedenih stroškov za potrebe določanja dnevnih stroškov uporabnikov ( $S_{up}$ ) niso relevantni (zavarovanje, cestnina, financiranje, upravno prodajni stroški in stroški dela) in jih ne bomo upoštevali, medtem ko so stroški goriva, amortizacije, vzdrževanja in obrabe gum po našem mnenju relevantni stroški. V prispevku (Hočevar, 2008) navedeni stroški veljajo za leto izdaje publikacije, zato smo vrednosti v odvisnosti od cene pogonskih goriv in BDP smiselno prilagodili za leto 2014 (preglednica 5.9). V publikaciji izračun za stroške avtobusa ni izveden, zato smo predpostavili, da so ti glede na svojo težo in število osi primerljivi s stroški za težek tovorni promet do 12 t. V preglednici so prikazane predlagane vrednosti stroškov vožnje za kilometer po posameznih skupinah vozil. Ker se vrednosti pogonskih goriv in nabavnih vrednosti ter s tem amortizacije vozil s časom spreminjajo, bi bilo potrebno v primeru uporabe predlaganega sistema za upravljanje v praksi, primernost vrednosti vsaj enkrat letno preveriti in po potrebi korigirati.

Preglednica 5.9: Predlagani obratovalni stroški vozil na kilometer prevožene poti za leto 2014

Table 5.9: Proposed vehicle operating costs per kilometer for year 2014

vrsta vozil	osebna	avtobusi	srednji tovorni	težek tovorni	prikolice/vlačilci
k [€/km]	0,37	0,70	0,53	0,70	0,78

#### 5.4.2 Umestitev vrednosti v razrede

Glavni cilj predlaganega sistema za upravljanje s premostitvenimi objekti je njihova objektivna razvrstitev glede na potrebe po sanaciji. Posamezni izbrani kriteriji, s katerimi določamo prednostni seznam, na odločitve ne vplivajo v enaki meri, saj so različno pomembni, hkrati njihove vrednosti opisujemo z različnimi enotami. Za kriterija 'možnost obvoza' in 'stroški uporabnikov' menimo, da je njuna narava takšna, da je njihove vrednosti najprimerneje razvrstiti v posamezne razrede. V nasprotnem primeru bi moral upravljalec cestnega omrežja vrednosti kriterijev že zaradi manjših sprememb v količini prometa na posameznih cestnih odsekih letno posodabljati za vse premostitvene objekte, kar pa ni smiselno. Po drugi strani se velikostni razredi prometne obtežbe posameznih cestnih odsekov s časom bistveno ne spreminjajo (razen v primeru gradnje novih cest ali avtocest, ki bistveno vplivajo na prometne tokove, česar pa v prihodnjih letih ne gre pričakovati v večjem obsegu). Razvrstitev objektov v posamezne razrede je zato enkratno delo, ki ga bo potrebno posodobiti le ob večjih spremembah prometnih tokov.

Predlagamo, da se vrednosti obeh kriterijev razdelijo v štiri razrede stroškov uporabnikov ( $RS_{up}$ ), kot je prikazano v preglednici 5.10. V odvisnosti od razvrstitve objektov v posamezni razred se končne vrednosti tehničnih kriterijev (stopnja ogroženosti, poškodovanosti in nadaljnje propadanje) za posamezen objekt zvišajo glede na njegovo pomembnost za uporabnike. Le-to lahko vrednotimo z družbenimi stroški. Tehnični kriteriji namreč opisujejo izključno poškodovanost posameznega objekta, ne obravnavajo pa njegove pomembnosti v cestnem omrežju za družbo. Z upoštevanjem dnevnih stroškov uporabnikov pri razvrščanju objektov korigiramo navedeno pomanjkljivost in zagotovimo, da se med približno enako poškodovanimi objekti najprej sanirajo tisti, ki so z vidika uporabnikov in družbe kot celote bolj pomembni. Največji vpliv na končno oceno objektov ima 4. razred, ki obravnava objekte, ki nimajo možnosti obvoza. Njihovo popolno zaprtje bi pomenilo odrezanost nekaterih uporabnikov od preostanka cestnega omrežja, česar ne smemo dovoliti. Tovrstni objekti morajo biti sanirani preden je za njihovo popravilo potrebno popolno zaprtje za promet. Zato je za takšne objekte potrebno v modelu ustrezno povečati pomembnost tehničnih kriterijev.

Predlagamo, da se pomembnost te skupine kriterijev poveča za 30%. Nekoliko manj rigorozno smo določili povečanje relativne pomembnosti kriterijev za objekte, kjer so stroški uporabnikov v primeru njihovega zaprtja sicer visoki (3. razred), vendar uporabniki cest ob nekaj večjih stroških in porabi časa kljub temu pridejo na zeleno destinacijo. Objekti, ki spadajo v 1. in 2. razred, so s stališča uporabnikov in s tem tudi delovanja cestnega omrežja nekoliko manj pomembni, zato se vrednosti njihovih tehničnih kriterijev za potrebe izdelave prednostnega seznama ne dvignejo (1. razred) oziroma le minimalno (2. razred). Za določitev mejnih vrednosti med posameznimi razredi smo privzeli, da so obvozi v povprečju dolgi 3 km, nato pa smo s pomočjo znanih PLDP vrednosti za posamezne vrste vozil izračunali predvideni dnevni strošek uporabnikov za vse obravnavane objekte. Ocenjujemo, da bo v 1. razred s stroški uporabnikov do 6.000 €/dan predvidoma razvrščenih 60% vseh objektov, v 2. razred 30% objektov, medtem ko naj bi bilo v razred z visokimi stroški razvrščenih predvidoma 10% objektov, ki bodo imeli najvišji dnevni strošek uporabnikov. Glede na terenske izkušnje je objektov brez možnosti obvoza (4. razred) izjemno malo, njihovo število je nižje od 1% celotnega fonda objektov.

Preglednica 5.10: Razvrstitev dnevnih stroškov uporabnikov v razrede -  $RS_{up}$

Table 5.10: Daily users costs classification -  $RS_{up}$

razred – $RS_{up}$	dnevni stroški uporabnikov [€/dan]	faktor vpliva na končno oceno
1 - Majhni stroški	do 6.000	1,0
2 - Srednji stroški	6.000 do 25.000	1,1
3 - Visoki stroški	nad 25.000	1,2
4 - Obvoza ni	nedoločljivo	1,3

## 5.5 STROŠKI SANACIJE

Pred pristopom k vsakem gradbenem projektu je eno najpomembnejših vprašanj za investitorja finančna vrednost projekta. Pri upravljanju in vzdrževanju tako velikega fonda nepremičnin, kot je omrežje premostitvenih objektov in z njimi povezano število projektov (sanacij posameznih objektov), pa je potreba po objektivni oceni potrebnih finančnih sredstev še toliko večja.

Glede na natančnost vhodnih podatkov, ki temeljijo izključno na vizualnem pregledu objektov, ne moremo izdelati tako natančne ocene stroškov, kot bi jo v primeru izdelave



investicijske in kasneje projektne dokumentacije. Kljub temu lahko stroške relativno dobro ocenimo, saj v primerjavi s stroški gradnje stavb ali nekaterih drugih infrastrukturnih objektov pri sanacijah premostitvenih objektov načeloma nimamo obrtniških del, elektro ter strojnih instalacij in podobno. Na ta način se nabor možnih del močno skrči, s tem pa je mogoče kljub manj zanesljivim vhodnim podatkom izdelati zadovoljivo natančne ocene stroškov. Na podlagi izkušenj iz "Programa odprave posledic neurja s poplavami september 2007" in "Programa odprave posledic poplav september 2010" ocenjujemo, da je na podlagi izključno vizualnega ogleda mogoče oceniti stroške sanacije obravnavanih infrastrukturnih objektov s približno 80% natančnostjo (Vivoda in sod., 2010).

Osnova za natančne ocene stroškov sanacij so kakovostno izdelani popisi del. Ti morajo vsebovati objektivne podatke o količinah posameznih del ter njihovo ceno na enoto dela. V obstoječem sistemu upravljanja s premostitvenimi objekti količine posameznih sanacijskih del samostojno določi pregledovalec na terenu. To sicer omogoča subjektivno ocenjevanje, vendar ob ustrezno usposobljenih pregledovalcih odstopanja ocen od dejanskega stanja ne bi smela biti velika. Z rednim usposabljanjem pregledovalcev bi velikostni red subjektivnega ocenjevanja sicer lahko še dodatno zmanjšali. Drugi del popisa predstavlja cena na enoto dela. Ta mora biti znana vnaprej in enaka oziroma standardna za vse objekte. Cenika del, ki bi obravnaval izključno dela, povezana s sanacijami in vzdrževanjem premostitvenih objektov nimamo, vendar je nekdanje Ministrstvo za okolje in prostor izdelalo cenika standardnih del, ki se uporabljata za potrebe odprave posledic potresov v Posočju iz let 1999 in 2004 ter odprave posledic poplav iz leta 2007 in 2010 (SOS, 2013). Navedena cenika med drugim vsebujeta vsa standardna dela, ki se predpisujejo v sklopu sanacij premostitvenih objektov, zato ju lahko v nespremenjeni obliki integriramo v novo razviti BMS.

Kriterij stroškov sanacije v predlaganem sistemu za upravljanje zajema gradbena dela ter stroške projektiranja in nadzora, ne vsebuje pa stroškov zastojev, obvozov in podobno, saj te stroške obravnavamo v sklopu drugih kriterijev. Vrednosti stroškov se določijo z izdelavo popisa del ter iz njega izhajajoče ocene skupnih stroškov. Upoštevati moramo še stroške izdelave projektne dokumentacije (ocena 7% skupnih stroškov) in stroške gradbenega nadzora (3% skupnih stroškov). Izračun skupnih stroškov sanacije je torej

$$S_{san} = \left( \sum_{u=1}^v kolicina_u \times cena\_enoto_u \right) \cdot 1,10 \quad (5.25)$$

kjer so  $u=1, \dots, v$  vsi predvideni sanacijski ukrepi na objektu. Izračun lahko z isto enačbo izvedemo tako za delno kot tudi za celovito sanacijo objekta.

## 5.6 KOEFICIENT IZBOLJŠANJA

Primarni cilj izvedbe sanacijskih del je zagotoviti varnost pri uporabi objekta, sekundarni cilj je znižanje stopnje ogroženosti, terciarni pa znižanje stopnje poškodovanosti objekta. Brez popolne izpolnitve primarnega cilja izvedba sanacijskih del ni smotrna, medtem ko morata biti sekundarni in terciarni cilj izpolnjena v čim večji meri. Koeficient izboljšanja moramo tako določiti za stopnjo ogroženosti objekta ter za stopnjo poškodovanosti objekta, medtem ko mora varnost pri uporabi biti zagotovljena v celoti.

Na podlagi predpisanih sanacijskih ukrepov je moč določiti, kakšno bo stanje objekta po sanaciji in v kolikšni meri bo novo stanje boljše od obstoječega. Razmerje med obstoječim in novim (bodočim) stanjem objekta imenujemo koeficient izboljšanja. Z njim dejansko določimo učinkovitost predlaganih ukrepov. Koeficient izboljšanja določimo posebej za stopnjo ogroženosti ( $K(I_o)$ ) in posebej za stopnjo poškodovanosti ( $K(I_p)$ ):

$$K(I_o) = (1 - I_{o,n} / I_{o,0}) \cdot 100\% \quad (5.26)$$

$$K(I_p) = (1 - I_{p,n} / I_{p,0}) \cdot 100\% \quad (5.27)$$

kjer sta  $I_{o,0}$  in  $I_{p,0}$  indeksa ogroženosti in poškodovanosti za obstoječe stanje,  $I_{o,n}$  in  $I_{p,n}$  pa indeksa ogroženosti in poškodovanosti za stanje po izvedenih sanacijskih ukrepih.

Višja kot sta koeficienta izboljšanja, bolj so predlagani sanacijski ukrepi učinkoviti. Vendar pa vrednotenje predlaganih ukrepov ne moremo izvesti izključno na podlagi kriterija koeficientov izboljšanja, temveč moramo poznati tudi finančna sredstva, ki jih za dosego določene stopnje izboljšanja potrebujemo. V praksi obstaja velika možnost, da z relativno majhnim finančnim vložkom močno izboljšamo stanje objekta, medtem ko bi za njegovo popolno sanacijo potrebovali bistveno večja finančna sredstva, učinkovitost vloženih sredstev pa bi bila s tem manjša. Način izračuna potrebnih finančnih sredstev je bil obravnavan v prejšnjem poglavju, skupaj z izračunanimi koeficienti izboljšanja pa lahko izvedemo analizo stroškov in koristi. Z njo obravnavamo in primerjamo različne variantne rešitve. Na podlagi dobljenih vrednosti lahko določimo, kateri nabor predlaganih ukrepov je s stališča upravljalca objektov ekonomsko gledano optimalen.

## 5.7 ANALIZA STROŠKOV IN KORISTI

Analiza stroškov in koristi (CBA) je metoda, ki ugotavlja ekonomsko upravičenost predvidene aktivnosti oziroma primerja dva ali tudi več načinov opravljanja neke aktivnosti. Ocenjuje in

sešteva enakovredno izražene stroške in koristi določenega projekta ter nam kot končni rezultat poda oceno upravičenosti izvajanja posameznega projekta ali določi najboljši način njegove izvedbe (Solution Matrix, 2012). Pri uporabi CBA se praviloma upošteva tudi čas oziroma obdobje, v katerem se stroški in koristi pojavijo in jih v odvisnosti od časa primerno diskontiramo, saj je ena denarna enota danes vredna več kot nekaj let kasneje. Vendar v našem primeru s pomočjo analize primerjamo le več načinov izvedbe ene aktivnosti (sanacije objekta) v istem obdobju, zaradi česar je faktor časa pri iskanju najboljše rešitve za nas nepomemben. V sklopu predlaganega sistema stroške ocenjujemo v denarnih enotah z uporabo izraza (5.25), koristi pa z velikostnim redom izboljšanja stanja objektov ((5.26) in (5.27)). Analizo stroškov in koristi moramo izvesti za vsak objekt za vse predlagane variantne rešitve. V predlaganem sistemu za upravljanje imamo sicer za vsak objekt namen primerjati le dve variantni rešitvi in sicer celovito sanacijo ter delno sanacijo, katere obseg bi določil pregledovalec v sklopu izdelave terenskega poročila. Za analizo posameznega objekta moramo poznati:

- stroške izvedbe sanacije za posamezno variantno rešitev,
- izboljšanje stanja objekta v primeru izvedbe posamezne variantne rešitve.

Gre za enostavno primerjavo stroškov izvedbe sanacijskih del ter koristi v obliki izboljšanja stanja objekta, kjer kot rezultat analize dobimo vloženo količino denarja za izboljšanje indeksa stanja objekta za eno točko. V splošnem lahko razmerje stroškov in koristi zapišemo:

$$\frac{C}{B} = \frac{S_{san}}{I_{p,0} - I_{p,n}} \quad (5.28)$$

V skoraj vseh primerih bo navedeno razmerje med stroški in koristmi ugodnejše za primer delne sanacije, saj odprava nevarnejših poškodb kljub večjemu finančnemu strošku predstavlja boljše razmerje strošek/korist kot odprava majhnih poškodb, ki le minimalno vplivajo na indeks poškodovanosti.

Ker pa izvedba delne sanacije objekta načeloma pomeni zgodnejši ponovni pristop k sanaciji in z njo povezano zaporo ceste, izdelavo projektne in druge dokumentacije, izvedbo pripravljalnih del na gradbišču in njegovo ureditev, je potrebno navedene pogostejše stroške upravljalca kot tudi dodatne stroške in slabo voljo uporabnikov zaradi pogostejših zapor ali omejitev prometa upoštevati pri primerjavi obeh variantnih rešitev. Za primerjavo stroškov in koristi izvedbe delne sanacije v primerjavi s celovito zato predlagamo vpeljavo koeficienta oziroma faktorja, ki bo zajel zgoraj navedene pogostejše stroške upravljalca in uporabnikov v primeru izvedbe delne sanacije. Natančne vrednost tovrstnega faktorja ni moč določiti, saj se

pri izvedbi posameznih projektov lahko močno razlikuje. Odvisen je od vrste predlaganih sanacijskih del in njihovega obsega ter predvsem razmerja, kolikšen del celotnega stroška predstavljajo spremljevalna dela kot je izdelava vseh vrst dokumentacije, zapore cest, ureditev gradbišča in podobno. Faktor smo se odločili določiti pavšalno z vrednostjo 1,5, pri čemer bi ga lahko na podlagi izkušenj že po nekaj letih uporabe sistema v praksi spremenili. Za določitev primernejše izmed predlaganih variantnih rešitev za posamezen objekt predlagamo uporabo spodnjega izraza:

$$1,5 \cdot \frac{S_{del, san, i}}{I_{p, 0, i} - I_{p, n, i}} \geq \frac{S_{cel, san, i}}{I_{p, 0, i}} \quad (5.29)$$

kjer so  $S_{del, san, i}$  stroški delne sanacije objekta  $i$ ,  $S_{cel, san, i}$  stroški celovite sanacije,  $I_{p, 0, i}$  indeks poškodovanosti v obstoječem stanju in  $I_{p, n, i}$  indeks poškodovanosti za stanje po izvedeni sanaciji. V kolikor je zapisana neenačba izpolnjena, je smotrnejše izvesti celovito sanacijo objekta, v nasprotnem primeru pa predlagamo le delno sanacijo.

## 6 UPORABA SISTEMA

### 6.1 INTEGRACIJA SESTAVNIH DELOV NA OMREŽNEM NIVOJU

Pred uporabo predlaganega sistema za upravljanje v praksi, je potrebno vrednosti v prejšnjem poglavju opisanih kriterijev oziroma sestavnih delov sistema na primeren matematičen način združiti v končno oceno. Dobljene rezultate za posamezne premostitvene objekte lahko nato medsebojno primerjamo in na ta način ugotovimo, kateri objekti so sanacijskih ukrepov potrebni najprej, kateri v naslednjih letih ter kateri so v tako dobrem stanju, da posegov v bližnji prihodnosti ne potrebujejo.

#### 6.1.1 Funkcija stanja in stroški uporabnikov

Stanje objektov določimo s tremi atributi; stopnjo poškodovanosti, stopnjo ogroženosti in stopnjo nadaljnjega propadanja. Njihove vrednosti so določene z indeksi ( $I_p$ ,  $I_o$  in  $\Delta I_p$ ) in se merijo v enakih enotah, zato jih lahko poljubno seštevamo, odštevamo ali z njimi opravljamo druge matematične operacije. Ker želimo, da je pomembnost navedenih atributov pri določanju stanja objektov enaka, njihove vrednosti pa se močno razlikujejo, jim moramo z namenom izenačenja njihovega vpliva na končni rezultat dodati uteži.

Funkcijo stanja objektov želimo določiti kot vsoto vseh treh atributov z upoštevanjem uteži, s katerimi bomo dosegli enakovreden vpliv posameznega indeksa na končni rezultat. Na podlagi primerjave povprečnih vrednosti vseh treh indeksov za objekte, katerih analiza je bila predstavljena v poglavju 5.2 smo prišli do zaključka, da je vrednost indeksa poškodovanosti ( $I_p$ ) približno trikrat večji od indeksa ogroženosti ( $I_o$ ) in približno petindvajsetkrat večja od indeksa letnega prirasta poškodovanosti ( $\Delta I_p$ ). Funkcijo obstoječega stanja objekta  $i$  zapišemo:

$$f_i(I_{p,i}, I_{o,i}, \Delta I_{p,i}) = I_{p,i} + 3 \cdot I_{o,i} + 25 \cdot \Delta I_{p,i} \quad (6.1)$$

Pri izdelavi prednostnega seznama objektov potrebnih sanacije, moramo poleg stanja objektov upoštevati tudi stroške uporabnikov, ki so bili predstavljeni v poglavju 5.4. Ti so razdeljeni v štiri razrede, na končno vrednost funkcije objekta pa vplivajo med 0% in 30%. Vrednost funkcije prioritete, ki upošteva kriterije obstoječega stanja, nadaljnjega propadanja in stroške uporabnikov, za stanje posameznega objekta v letu 0 izračunamo:

$$F_{i,0}(I_{p,i}, I_{o,i}, \Delta I_{p,i}, RS_{up,i}) = f_i(I_{p,i}, I_{o,i}, \Delta I_{p,i}) \cdot RS_{up,i} = (I_{p,i} + 3 \cdot I_{o,i} + 25 \cdot \Delta I_{p,i}) \cdot RS_{up,i} \quad (6.2)$$

Ker predlagani sistem za upravljanje obravnava šestletno obdobje, moramo vrednost funkcije izračunati za vsako leto, do šestega leta. Izračunani vrednosti  $F_{i,0}$ , ki velja za tekoče leto, moramo tako za vsako nadaljnje leto dodati vrednost letnih prirastkov indeksa poškodovanosti in indeksa ogroženosti. Vrednost funkcije prioritete za leto  $y$  izračunamo z izrazom:

$$F_{i,y}(I_{p,i}, I_{o,i}, \Delta I_{p,i}, \Delta I_{o,i}, RS_{up,i}) = (I_{p,i} + 3 \cdot I_{o,i} + 25 \cdot \Delta I_{p,i} + y \cdot (\Delta I_{p,i} + 3 \cdot \Delta I_{o,i})) \cdot RS_{up,i} \quad (6.3)$$

kjer je  $y = 0, 1, \dots, 5$ .

Na podlagi trenutno razpoložljivih podatkov, tabel povprečnih letnih prirastkov indeksa ogroženosti ( $\Delta I_o$ ) ne moremo izdelati. Do njihove izdelave moramo za potrebe izračuna privzeti, da je letni prirastek njegove vrednosti enak razliki ocen treh največjih poškodb obravnavanega objekta, ki so jih pregledovalci zabeležili med zadnje opravljenim pregledom v letu  $y$  in predhodno opravljenim terenskim pregledom.

$$\Delta I_{o,i} = \sum_{j=1}^3 \sum_{k=1}^n B_j \cdot K_{1,k} \cdot (K_{2,j,k,y} \cdot K_{3,j,k,y} \cdot K_{4,j,k,y} - K_{2,j,k,y-1} \cdot K_{3,j,k,y-1} \cdot K_{4,j,k,y-1}) \quad (6.4)$$

### 6.1.2 Stroški izvedbe sanacije in koeficient izboljšanja

Na podlagi določitve vrednosti funkcije prioritete vsem objektom za obravnavano število let, lahko te razvrstimo glede na nujnost pristopa k njihovi sanaciji, kar predstavlja tehnični vidik odločanja. Z upoštevanjem stroškov sanacije in koeficientov izboljšanja pa sistemu odločanja dodamo finančni vidik. S finančnim vidikom sta neposredno povezani kar dve predpisani omejitvi, medtem ko je tretja posredno.

Najpomembnejša finančna omejitev so gotovo letno razpoložljiva finančna sredstva. Stroški sanacije objektov, ki so predpisani v posameznem letu, ne smejo preseči razpoložljivih sredstev:

$$\sum_{i=1}^r S_{san,i,y} \leq B_y \quad (6.5)$$

Kjer so  $S_{san,i,y}$  predvideni stroški sanacije objekta  $i$  obravnavanem letu  $y$ ,  $B_y$  pa razpoložljiva finančna sredstva v letu  $y$ . S funkcijo prioritete smo objekte razvrstili glede na nujnost izvedbe sanacijskih del, v naslednji fazi pa moramo vsakemu določiti obseg teh del. Popis del izdelamo za popolno in delno sanacijo vsakega objekta. Minimalen obseg sanacijskih ukrepov pri delni sanaciji mora zagotoviti vsaj 50% izboljšanje stanja objekta, merjeno s koeficientoma indeksov ogroženosti in poškodovanosti:

$$K(I_o) \geq 0,5 \text{ in } K(I_p) \geq 0,5 \quad (6.6)$$

Maksimalen obseg sanacije seveda pomeni celovito sanacijo objekta. Ali se bomo odločili za slednjo ali le delno sanacijo objektov, je odvisno od dveh dejavnikov; vrednosti funkcije stanja najbolj poškodovanega nesaniranega objekta v posameznem letu in razmerja stroškov in koristi celovite v primerjavi z delno sanacijo objekta.

Kot je navedeno v poglavju 4.3.4, smo kot eno izmed omejitev predpisali maksimalno vrednost funkcije stanja, ki mora tudi za najbolj poškodovan objekt v omrežju biti nižja od 80. S tem želimo preprečiti pojav težje odpravljevih poškodb, deformacij ali celo delnih porušitev objektov. Dokler navedena omejitev ni izpolnjena, moramo za sanacijo vseh objektov izbirati cenejše izmed predvidenih sanacijskih rešitev, saj bomo na ta način letno sanirali največje možno število objektov:

$$f_{i,y}(I_{p,i}, I_{o,i}, \Delta I_{p,i}) > 80 \Rightarrow S_{del,sani,y} \text{ za vsak objekt } i \quad (6.7)$$

V primeru, ko ima najbolj poškodovan objekt v omrežju vrednost funkcije stanja nižjo od 80, poleg tehničnega vidika pri izbiri ukrepov pričnemo upoštevati tudi ekonomski vidik. S slednjim skušamo čim bolje izkoristiti razpoložljiva finančna sredstva. Odločitev o obsegu izvedbe sanacijskih del na posameznem objektu je odvisna od razmerja med stroški in koristmi izvedbe posamezne variantne rešitve. Način odločanja in izračun je prikazan v poglavju 5.7.

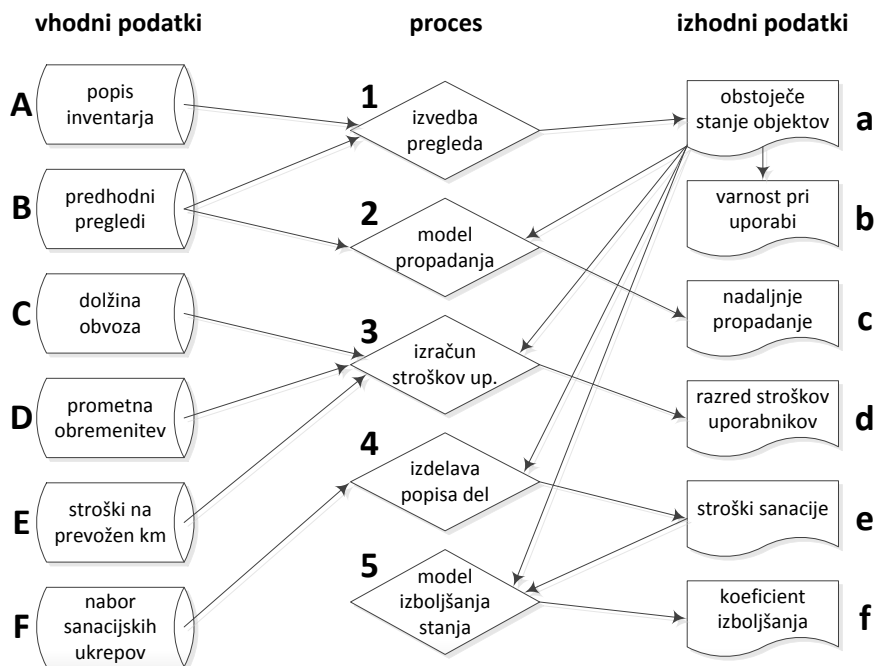
### **6.1.3 Prikaz povezav in odvisnosti posameznih delov sistema v procesu odločanja**

Predlagan sistem za upravljanje s premostitvenimi objekti je v grobem sestavljen iz vhodnih podatkov, procesov odločanja, izhodnih podatkov in omejitev, kot končni rezultat pa nam poda seznam objektov, ki so v posameznem letu sanacijskih ukrepov najbolj potrebni. Pri tem seveda upošteva predpisane omejitve.

Na sliki 6.1 je prikazan diagram procesa pridobivanja izhodnih podatkov za posamezen objekt na projektnem nivoju, ki nam nato služijo kot vhodni podatki za odločanje na omrežnem nivoju. Za vsak obravnavan objekt potrebujemo štiri vrste vhodnih podatkov, ki so specifični za vsak objekt (vhodni podatki *A* do *D*) in dve vrsti podatkov, ki jih uporabljamo nespremenjene za vse objekte (vhodni podatki *E* in *F*). Vhodne podatke *A* do *F* ter izhodni



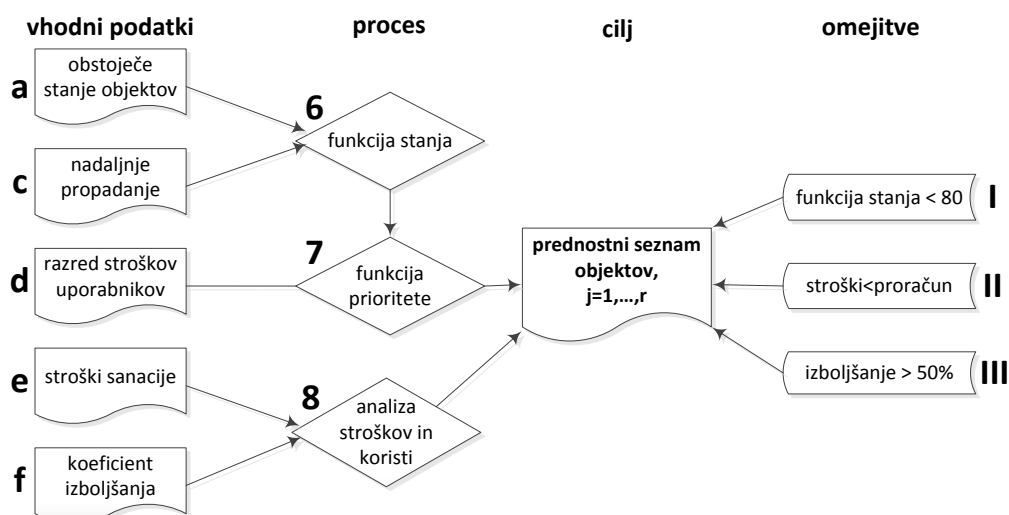
podatek *a* potrebujemo za izvedbo predpisanih procesov 1 do 5, ki nam kot rezultat podajo izhodne podatke *c* do *f*. Ti podatki ne podajo še nobene informacije o prioriteti posameznega objekta za sanacijo, temveč služijo kot vhodni podatki za omrežni nivo. Izhodni podatek *b* je za razliko od ostalih odvisen izključno od obstoječega stanju objekta. V kolikor varnost pri uporabi ni zagotovljena, objekta v omrežnem nivoju sistema ne obravnavamo, saj je potrebna takojšnja sanacija oziroma zapora objekta za promet do izvedbe sanacije.



Slika 6.1: Povezave in odvisnosti med vhodnimi podatki, procesi in izhodnimi podatki na projektnem nivoju

Figure 6.1: Relationships and dependencies between input data, processes and output data on project level

Razvrščanje objektov glede na potrebo po sanaciji ter odločitve povezane z obsegom sanacije posameznega objekta se v celoti izvedejo na omrežnem nivoju sistema (slika 6.2). Na podlagi vrednosti vhodnih podatkov (*a* do *f*) izračunamo vrednost funkcij stanja (*6*) in prioritete (*7*) ter z analizo stroškov in koristi (*8*) primerjamo predlagane sanacijske rešitve za posamezen objekt. V posameznem letu se vedno sanirajo objekti z najvišjimi vrednostmi funkcije prioritete, izbira sanacijske rešitve za posamezen objekt pa je poleg razmerja stroškov in koristi odvisna tudi od predpisanih omejitev (*I* do *III*).



Slika 6.2: Povezave in odvisnosti med vhodnimi podatki, procesi in omejitvami na omrežnem nivoju

Figure 6.2: Relationships and dependencies between input data, processes, constraints and objective on network level

## 6.2 UPORABA MODELA NA PRAKTIČNEM PRIMERU

### 6.2.1 Potek dela

Na podlagi razvitega sistema za odločanje (poglavji 5 in 6) smo izdelali računalniško orodje v programskem okolju Microsoft Excel, s katerim smo analizirali 50 premostitvenih objektov na območju ljubljanske regije. Izpis programa v celoti je prikazan v PRILOGI C.

Po izbiri testnih premostitvenih objektov, za katere smo imeli zadnje razpoložljive podatke o opravljenih terenskih pregledih za leto 2011, smo najprej določili omejitve in letno razpoložljiva finančna sredstva. Njihove vrednosti so določene skladno z ugotovitvami poglavij 4.3.4 in 5.7, razpoložljiva finančna sredstva za sanacijska dela pa smo za izbrani obseg objektov določili pri 70.000,00 € letno (slika 6.3).

SISTEM ZA UPRAVLJANJE S PREMOSTITVENIMI OBJEKTI																																	
OMEJITVE		funkcija stanja:		< 80		<table border="1"> <tr> <td colspan="2">RAZPOLOŽLJIVA FINANČNA SREDSTVA</td> <td>leto [y]:</td> <td>70.000,00 €</td> <td>leto [y+3]:</td> <td>70.000,00 €</td> </tr> <tr> <td>leto [y+1]:</td> <td>70.000,00 €</td> <td>leto [y+4]:</td> <td>70.000,00 €</td> </tr> <tr> <td>leto [y+2]:</td> <td>70.000,00 €</td> <td>leto [y+5]:</td> <td>70.000,00 €</td> </tr> </table>														RAZPOLOŽLJIVA FINANČNA SREDSTVA		leto [y]:	70.000,00 €	leto [y+3]:	70.000,00 €	leto [y+1]:	70.000,00 €	leto [y+4]:	70.000,00 €	leto [y+2]:	70.000,00 €	leto [y+5]:	70.000,00 €
		RAZPOLOŽLJIVA FINANČNA SREDSTVA		leto [y]:	70.000,00 €															leto [y+3]:	70.000,00 €												
leto [y+1]:	70.000,00 €	leto [y+4]:	70.000,00 €																														
leto [y+2]:	70.000,00 €	leto [y+5]:	70.000,00 €																														
		K[lo] in K[lp]:		> 0,5																													
		B/C razmerje:		1,5																													
objekt	funkcija stanja	funkcija prioritizacije za leto:					prioritizacija [leto y]	stroški sanacije [€]		koef. izbolj. [del]		vrednost sanacije v letu																					
		y	y+1	y+2	y+3	y+4		y+5	delna	celovita	K [lo]	K [lp]	y	y+1	y+2	y+3	y+4	y+5															
U0001	39,53	47,43	50,48	53,12	55,76	58,40	61,04	30	4.992,00	20.157,80	0,6	0,57																					
U0002	73,98	88,77	91,94	41,53	44,70	47,87	51,03	6	6.396,00	39.930,80	0,5	0,5	6.396,00 €																				
U0003	20,98	25,17	27,38	29,59	31,80	34,00	36,21	46	2.340,00	9.198,80	0,6	0,59																					
U0004	51,98	62,38	64,56	66,75	68,93	33,72	35,90	20	5.928,00	29.642,60	0,5	0,52				5.928,00 €																	
U0005	80,53	96,64	25,92	28,88	31,85	34,81	37,78	3	15.184,00	27.614,60	0,75	0,73	15.184,00 €																				
U0006	19,13	22,96	25,04	27,13	29,22	31,31	33,40	47	3.172,00	7.553,00	0,75	0,74																					

Slika 6.3: Prikaz glave aplikacije z osnovnimi podatki

Figure 6.3: Front page of the application with basic information

Pred pričetkom izvajanja analiz smo za vse obravnavane objekte najprej presodili, da so varni za uporabo in s tem primerni za nadaljnje obravnavanje. Sledil je izračun indeksov poškodovanosti (enačba (5.2)) in ogroženosti (enačba (5.1)) za vsak objekt ter določitev hitrosti nadaljnjega propadanja z določitvijo indeksov letne stopnje večanja poškodovanosti (enačba (5.23) in podatki iz priloge B) in ogroženosti objekta (enačba (6.4)). S pridobljenimi vrednostmi navedenih indeksov smo izračunali funkcijo stanja (enačba (6.1)), s katero opredelimo obstoječe stanje vsakega objekta s tehničnega vidika. V naslednjem koraku smo z določitvijo funkcije prioritete (enačba (6.2)) objektom določili njihov vrstni red pristopa k sanaciji, kar je eden izmed bistvenih ciljev sistema. Predlagani sistem mora analizirati in razvrstiti objekte za šestletno obdobje, zato smo z enačbo (6.3) izračunali vrednost funkcije prioritete objektom za naslednjih pet let (slika 6.4).

objekt	funkcija stanja	funkcija prioritizacije za leto:						prioriteta [letov]	stroški sanacije [€]		koef. izbolj. [delj]		vrednost sanacije v letu					
		y	y+1	y+2	y+3	y+4	y+5		delna	celovita	K(lo)	K(lp)	y	y+1	y+2	y+3	y+4	y+5
U0001	39,53	47,43	50,48	53,12	55,76	58,40	61,04	30	4.992,00	20.157,80	0,6	0,57						
U0002	73,98	88,77	91,94	41,53	44,70	47,87	51,03	6	6.396,00	39.930,80	0,5	0,5	6.396,00 €					
U0003	20,98	25,17	27,38	29,59	31,80	34,00	36,21	46	2.340,00	9.198,80	0,6	0,59						
U0004	51,98	62,38	64,56	66,75	68,93	71,12	73,30	20	5.928,00	29.642,60	0,5	0,52			5.928,00 €			
U0005	80,53	96,64	25,92	28,88	31,85	34,81	37,78	3	15.184,00	27.614,60	0,75	0,73	15.184,00 €					
U0006	19,13	22,96	25,04	27,13	29,22	31,31	33,40	47	3.172,00	7.553,00	0,75	0,74						
U0007	25,89	31,07	33,48	35,90	38,31	40,72	43,13	40	3.588,00	12.823,20	0,6	0,63						
U0008	26,10	31,32	33,54	35,76	37,98	40,20	42,42	39	3.458,00	12.186,20	0,6	0,64						
U0017	60,30	66,33	68,52	70,71	72,89	75,08	77,27	18	11.668,80	21.283,60	0,75	0,77			21.283,60 €			
U0018	69,16	76,08	78,22	80,36	82,50	84,64	86,78	11	15.069,60	23.899,20	0,85	0,86	23.899,20 €					
U0019	16,38	18,02	19,70	21,38	23,06	24,74	26,42	49	2.860,00	4.914,00	0,75	0,69						
U0020	54,78	60,26	62,64	65,03	67,41	69,79	72,17	23	11.419,20	19.734,00	0,75	0,7				19.734,00 €		
U0021	56,62	62,28	64,31	66,33	68,35	70,37	72,39	21	12.402,00	19.175,00	0,85	0,79				19.175,00 €		

Slika 6.4: Prikaz izračunanih vrednosti funkcije prioritizacije, stroškov sanacije in koeficientov izboljšanja za posamezen objekt

Figure 6.4: Calculated values for prioritization function, rehabilitation costs and improvement coefficients for a individual bridge

Na podlagi popisa poškodb smo ocenili vrednosti sanacijskih ukrepov za vsak objekt in sicer za delne in popolne sanacije. Na podlagi popisov del za delne sanacije smo določili tudi vrednosti obeh koeficientov izboljšana. Dokler je veljal izraz (6.7), smo v posameznem letu za vse objekte izbirali cenejše sanacijske rešitve, torej delne sanacije objektov. V letu, ko je vrednost funkcije stanja najbolj poškodovanemu objektu padla pod 80, smo pri izbiri sanacijskih rešitev pričeli upoštevati tudi ekonomski vidik (enačba (5.29)). Na sliki 6.4 so z rdečo obarvane vrednosti sanacijskih del za tiste objekte, kjer je bilo zaradi izbranih omejitev primerneje izvesti delno sanacijo objektov, z zeleno pa so obarvane vrednosti pri tistih objektih, kjer je bilo smotrneje izvesti celovito sanacijo objekta.

## 6.2.2 ANALIZIRANJE REŠITEV

Za potrebe obravnavanega primera smo letno razpoložljiva finančna sredstva določili pri vrednosti 70.000,00 €, s čimer bi letno lahko sanirali štiri do šest obravnavanih objektov. Bolj pomemben kot število saniranih objektov je sicer podatek ali se z določenim proračunom vsota vrednosti funkcij stanja in s tem posledično tudi funkcij prioritizacije vseh objektov viša ali niža. V testnem primeru se niža (slika 6.5 levo spodaj), torej je letno razpoložljivih dovolj finančnih sredstev za nemoteno vzdrževanje obravnavanega obsega objektov. V primeru, da bi vrednost funkcij stanja naraščala, bi ob nespremenjenih razpoložljivih finančnih sredstvih lahko zaostri ekonomski vidik odločanja (enačba (5.29)) in znižali vrednost faktorja v enačbi, ki je trenutno določena pri 1,5, s čimer bi kratkoročno povečali učinkovitost porabljenih finančnih sredstev. V kolikor bi vrednost funkcij stanja kljub navedenemu ukrepu še naprej naraščala, bi morali zvišati razpoložljiva finančna sredstva.

objekt	funkcija stanja	funkcija prioritizacije za leto:						prioritizacija [letov]	stroški sanacije [€]		koef. izb. (dal)		vrednost sanacije v letu					
		y	y+1	y+2	y+3	y+4	y+5		delna	celovita	K (lo)	K (lp)	y	y+1	y+2	y+3	y+4	y+5
LI0001	39,53	47,43	50,48	53,12	55,76	58,40	61,04	30	4.992,00	20.157,80	0,6	0,57						
LI0002	73,98	88,77	91,94	41,53	44,70	47,87	51,03	6	6.396,00	39.930,80	0,5	0,5	6.396,00 €					
LI0003	20,98	25,17	27,38	29,59	31,80	34,00	36,21	46	2.340,00	9.198,80	0,6	0,59						
...																		
...																		
LI0112	84,15	92,56	95,68	32,47	35,59	38,71	41,82	5	13.478,40	37.107,20	0,7	0,72	13.478,40 €					
LI0113	62,95	69,24	72,27	75,30	78,33	81,36	84,39	17	6.411,60	33.345,00	0,5	0,57				6.411,60 €		
LI0114	46,91	46,91	49,25	51,59	53,93	56,27	58,61	31	9.087,00	16.174,60	0,75	0,78						
<b>VSOTA VREDNOSTI:</b>		2.885,14	2.796,46	2.591,64	2.486,11	2.332,21	2.134,38											
<b>POTREBNA SREDSTVA:</b>		68.004,00 €	69.950,40 €	69.885,60 €	68.229,20 €	66.793,00 €	69.275,80 €											
<b>RAZPOLOŽLJIVA SREDSTVA:</b>		70.000,00 €	70.000,00 €	70.000,00 €	70.000,00 €	70.000,00 €	70.000,00 €											

Slika 6.5: Prikaz vrednosti potrebnih in razpoložljivih finančnih sredstev ter vsot vrednosti funkcij prioritizacije po posameznih letih

Figure 6.5: Display of annually required and available funds and sums of prioritization functions

Ali je maksimalna še zadovoljiva vrednost funkcije stanja določena pravilno ali jo bo potrebno spremeniti se bo izkazalo šele v primeru uporabe predlaganega sistema v praksi. Enako velja tudi za minimalni sprejemljivi vrednosti koeficientov izboljšanja ( $K(I_p)$  in  $K(I_o)$ ). Celoten postopek izračunov ter določanja končnih rešitev je bil v testnem primeru zadovoljiv in ne kaže pomanjkljivosti.

## **7 ZAKLJUČKI IN RAZPRAVA**

Gradnja cestnega prometnega omrežja je v Republiki Sloveniji, podobno kot v večini ostalih razvitih držav, v večji meri zaključena. Pozornost in delo gradbene stroke na tem področju se bo zato v prihodnjih letih gotovo usmerilo k vzdrževanju že zgrajenih objektov, za kar pa bo potrebna ustrezna usposobljenost inženirjev in uporaba primernih orodij. Predstavljeno doktorsko delo je s svojimi rezultati in ugotovitvami eden izmed korakov k vzpostavitvi kakovostnega sistema vzdrževanja slovenskih cestnih premostitvenih objektov, z določenimi prilagoditvami pa ga bo najverjetneje moč uporabiti tudi v železniškem omrežju in širše.

### **7.1 UGOTOVITVE IN REZULTATI**

Pri izdelavi sistema za upravljanje smo večino elementov obstoječe metodologije pregledovanja in ocenjevanja stanja premostitvenih objektov integrirali v nov sistem, kar kaže na kakovost njene več kot dvajset let stare zasnove, ter zavrgli tiste elemente, ki so se tekom let uporabe izkazali kot neustrezni. Na tej osnovi smo utemeljili nove načine opisovanja in določanja obstoječega stanja konstrukcij, izdelali model za oceno stroškov uporabnikov in upravljalca objektov, določili kriterije, omejitve in način razvrščanja objektov na prednostni seznam za izvedbo sanacijskih ukrepov. Na osnovi obstoječih podatkov o stanju obravnavanih objektov smo določili predvideno hitrost propadanja premostitvenih objektov v odvisnosti od njihovih lastnosti.

Predlagani način določanja obstoječega stanja objektov odpravlja največjo pomanjkljivost obstoječe metodologije ocenjevanja, to je neupoštevanje koncentracije poškodb na majhnem območju, ki lahko bistveno vpliva na skupno oceno stanja objekta ter s tem tudi na odločitve upravljalca, katere objekte uvrstiti na prednostni seznam objektov, ki naj bodo deležni obnove. Poleg ocene poškodovanosti objektov potrebuje upravljalca za učinkovito opravljanje svojega dela še oceno stroškov izvedbe predvidenih sanacijskih ukrepov, saj lahko le tako celovito presodi o upravičenosti obnove. Obstoječi sistem tega podatka namreč ne evidentira. Stroške uporabnikov, ki nastanejo zaradi obnove, smo v sistem umestili premišljeno, da ne bi prekomerno vplivali na prednostno razvrstitev objektov. Njihov vpliv na končno odločitev za pristop k sanaciji posameznega objekta se namreč povečuje šele z večanjem njegove poškodovanosti. Z namenom optimizacije porabe finančnih sredstev, tako na projektnem kot na omrežnem nivoju, smo za vsak objekt predvideli dva načina izvedbe sanacije. Odločitev o izbiri, ki je odvisna od več dejavnikov, se sprejme šele na omrežnem nivoju. Za razvrstitev objektov na prednostni seznam kot tudi določitev ustrežnejše variante

izvedbe sanacijskih ukrepov smo uporabili šest kriterijev. Njihove vrednosti smo normirali ter uspešno združili v dva vidika: tehničnega s funkcijo prioritete in ekonomskega z analizo stroškov in koristi. Vidika skupaj z upoštevanjem predlaganih omejitev kot končni rezultat podata prednostni seznam objektov, potrebnih sanacije za šestletno obdobje, ločene po posameznih letih.

Ustreznost razvitega sistema smo preverili na primeru skupine 50 objektov, pri čemer smo preverjali tako potek izračuna kot tudi njegove rezultate. Kot končni rezultat model poda prednostni seznam objektov, hkrati pa nam pove, ali ima upravljalec letno na razpolago zadostna finančna sredstva, da se stanje izbranega fonda objektov ne slabša.

## **7.2 PRISPEVEK DOKTORSKE DISERTACIJE**

Med prispevke k znanosti prištevamo določitev velikosti učinkov obravnavanih vplivov na propadanje premostitvenih objektov in njihovih posameznih konstrukcijskih sklopov. Predstavljeno raziskovalno delo omogoča določitev letnih stopenj večanja poškodovanosti, ki smo jih določili z odsekoma linearnim regresijskim modelom. Z njo smo analizirali podatke v obdobju dvajsetih let za preko tisoč premostitvenih objektov, ki se nahajajo na slovenskih državnih cestah. Ugotavljali smo učinek štirih vrst vplivov na propadanje posameznih konstrukcijskih sklopov premostitvenih objektov. Odločitev za obravnavanje objektov po posameznih konstrukcijskih sklopih se je izkazala za pravilno, saj poteka njihovo slabšanje stanja z različnimi hitrostmi in v odvisnosti od različnih vplivov.

Vpliv prometne obtežbe na propadanje objekta se je izkazal kot zanemarljiv, kar kaže, da so nosilni elementi ustrezno projektirani in grajeni, ter da so v voziščnih elementih vgrajeni materiali, ki ustrezajo tudi sedanjim prometnim in okoljskim obremenitvam. V državah, kjer standardi in drugi predpisi niso tako rigorozni kot v Republiki Sloveniji, pa bi lahko dobili tudi drugačne rezultate. Podnebni vplivi izkazujejo glede na dobljene rezultate največji učinek na hitrost propadanja. Rezultati kažejo, da so procesi propadanja v primorskem in alpskem podnebnem tipu skoraj enako hitri, medtem ko prihaja na območju celinskega podnebja do bistveno hitrejšega propadanja. Slednje lahko pripišemo večjemu številu ciklusov zmrzovanja in taljenja. Manjši vpliv ima na procese propadanja material, iz katerega so objekti grajeni. Analizirali smo štiri vrste materiala, med drugim tudi kamnitega. Konstrukcijski sklopi, grajeni s kamnitim gradivom, kljub tradicionalnemu načinu gradnje ne kažejo hitrejšega propadanja od armiranobetonskih, prednapetih ali jeklenih. V pregledani literaturi nismo zasledili primerjave propadanja nadvozov oziroma podvozov ter mostov. Analiza razpoložljivih

podatkov je pokazala, da propadajo mostovi hitreje od drugih premostitvenih objektov, kar lahko pripišemo prisotnosti procesov propadanja, povezanih s prisotnostjo vode. Dobljeni rezultati kažejo, da imajo večjo hitrost propadanja izključno elementi podkonstrukcije, medtem ko propadajo elementi cestišča in prekladne konstrukcije mostov z enako hitrostjo kot tisti od nadvozov, podvozov in viaduktov. Glede na število analiziranih objektov kot tudi časovni interval, ki jo analiza zajema, sodimo, da so rezultati celoviti in omogočajo nadaljnje raziskovalno delo na področju upravljanja cestne infrastrukture.

### **7.3 PRIPOROČILA IN NAPOTKI ZA NADALJNJE DELO**

Področje, ki ga obravnava predstavljeno raziskovalno delo, je široko in sestavljeno iz več delov, hkrati pa je za analiziranje vseh skupin obravnavanih objektov, za nekatere kombinacije vplivov, na razpolago premajhna baza podatkov. Trenutno manjkajo predvsem podatki z daljših viaduktov, ki so bili pri nas večinoma grajeni šele po letu 1990 in jim zato še ne moremo ustrezno določiti trenda propadanja, v kolikor je ta drugačen kot pri že analiziranih nadvozih, podvozih in krajših viaduktih. Napoved procesov propadanja s pomočjo regresijske analize bo za tovrstne objekte na območju Republike Slovenije mogoča šele čez več kot deset let.

V prihodnje bi veljalo preveriti odvisnost vrste, hitrosti in najpogostejših mest nastajanja poškodb od vrste konstrukcijskega sistema premostitvenih objektov (nosilna plošča, škatlasti prerez, nosilci, obok, lok in podobno). V kolikor bi se pokazal jasen trend, bi lahko v fazi projektiranja in kasneje izvedbe posebno pozornost namenili ugotovljenim kritičnim mestom ter s tem bistveno upočasnili procese propadanja. Prav tako bi lahko preverili morebitne razlike v hitrosti nastajanja in vrstah poškodb med starejšimi in mlajšimi objekti z enakimi kombinacijami ostalih vplivov. Nadalje bi lahko ugotavljali tudi ali novejši materiali in zdajšnja večja kontrola in kakovost gradnje bistveno vplivajo na hitrost propadanja ter ugotovitve v sistem upravljanja s premostitvenimi objekti tudi vgradili.

Nadaljnja priporočila, ki izhajajo iz predstavljenega raziskovalnega dela, se nanašajo predvsem na izvedbeni del upravljanja s premostitvenimi objekti. Analiza podatkov o stanju objektov, ki jih pridobimo z vizualnimi pregledi kaže, da pregledovalci (četudi imajo pred začetkom dela ustrezno usposabljanje), ne ocenjujejo poškodb povsem konsistentno in z enakimi merili. V prvi vrsti bi bilo zato v prakso priporočljivo uvesti redna usklajevanja ali izobraževanja vseh pregledovalcev, v sklopu katerih bi pregledovalci poenotili ocene za vse vrste in obsege poškodb. S tem bi lahko bistveno zmanjšali subjektivnost ocene, ki je sicer



inherenten del katerekoli vrste ocenjevanja s strani posameznika. Pri analizi in interpretaciji obstoječih podatkov so ta neskladja povzročala največje probleme. Po vzoru finskega sistema (Everett in sod., 2008) bi bilo priporočljivo v posameznih podnebnih območjih določiti manjše število referenčnih objektov, na katerih bi spremljali stanje z metodami, ki omogočajo kontinuiran zajem podatkov, ter s tem dobili zanesljivejše informacije o procesih propadanja posameznih elementov premostitvenih konstrukcij.

## POVZETEK

Ustrezno grajeni in vzdrževani prometni infrastrukturni objekti predstavljajo osnovo razvoju celotnega gospodarstva, hkrati pa vsem uporabnikom zagotavljajo visoko kakovost življenja. S časom se zaradi kombinacije različnih vplivov njihovo stanje slabša. Če želimo nivo obnašanja ohranjati na želeni ravni, je potrebno v izbranih časovnih intervalih izvajati ustrezen obseg dejavnosti vzdrževanja in obnove, te pa se morajo hkrati prilagajati tudi morebitnim novim potrebam uporabnikov. Določitev primernih intervalov izvajanja sanacij, določitev njihovega obsega, optimizacijo porabe finančnih sredstev in druge cilje je mogoče doseči le z uporabo ustreznega orodja.

Doktorsko delo obravnava del celovitega upravljanja s prometno gospodarsko infrastrukturo in sicer sistem upravljanje s premostitvenimi objekti. V tujini so se ti v zadnjih dvajsetih letih razvili iz enostavnih metod pregledovanja objektov v celovite sisteme za upravljanje, medtem ko je v Republiki Sloveniji še vedno v uporabi preko dvajset let stara metodologija. Posledično je bila glavna motivacija za pristop k disertaciji ujeti priključek z ostalimi razvitimi državami na obravnavanem področju. Cilj naloge je bil razviti v praksi uporaben sistem, ki bo upošteval specifične gradnje in način upravljanja s premostitvenimi objekti na območju Republike Slovenije. Da bi to dosegli, smo morali izbrati tiste kriterije in omejitve, na podlagi katerih lahko objektivno določimo prednostno listo premostitvenih objektov, ki so v posameznem letu sanacijskih ukrepov najbolj potrebni.

Osnovo novo razvitega sistema tvori obstoječa metodologija izvajanja pregledov objektov in določanja stanja, ki smo ji odpravili največjo pomanjkljivost, to je neupoštevanje koncentracije poškodb na majhnem območju. Dodatno pa smo v odločitveni sistem vpeljali varnost pri uporabi, stroške uporabnikov, stroške izvedb sanacij in z obsegom sanacij povezane koeficiente izboljšanja stanj ter določitev hitrosti nadaljnega propadanja tako objektov kot celot kot tudi njihovih posameznih konstrukcijskih sklopov. Določitev hitrosti nadaljnega propadanja je predstavljala najzahtevnejši del naloge, določili pa smo jo na podlagi analize pregledov stanj približno 1.200 mostov in njihovih konstrukcijskih sklopov v dvajsetletnem obdobju. Rezultati analize so pokazali, da je hitrost propadanja objektov v veliki meri odvisna od atmosferskih vplivov, bistveno manj pa od vrste vgrajenega materiala. Prisotnost vode pod objekti ima velik vpliv na propadanje elementov podkonstrukcije objektov, medtem ko na prekladno konstrukcijo in elemente cestišča, glede na rezultate analize, nima nikakršnega vpliva. V sklopu analize smo ugotavljali še vpliv prometne obremenitve na hitrost propadanja. Rezultati kažejo, da promet ob pravilnem projektiranju in gradnji objektov na njihovo propadanje nima vpliva.

Sistem za upravljanje smo razdelili na projektni nivo, v sklopu katerega določamo vrednosti izbranih kriterijev za posamezen premostitveni objekt ter na omrežni nivo, ki ga sestavljata dva vidika, tehnični in ekonomski. Tehnični vidik na podlagi funkcije prioritete izdelava prednostni seznam objektov, potrebnih sanacije za šestletno obdobje po posameznih letih, pri čemer upošteva stopnjo poškodovanosti, stopnjo ogroženosti, hitrost pričakovanega nadaljnega propadanja in možnost obvoza za vsak objekt v omrežju. Ekonomski vidik določi najprimernejši obseg sanacije posameznega objekta, pri čemer upošteva stanje celotnega omrežja, letno razpoložljiva finančna sredstva ter delež izboljšanja stanja objekta v odvisnosti od vloženih finančnih sredstev. Dodatno sistem upravljavcu omogoči tudi pridobitev podatka o letno potrebnih finančnih sredstvih za ohranjanje stanja omrežja na obstoječem nivoju oziroma v primeru nezadostnih sredstev letno stopnjo slabšanja stanja.

Validacijo razvitega sistema smo izvedli na primeru 50 objektov, v sklopu katere smo preverjali potek izračunov, njihovo izvedljivost ter pravilnost končnih rezultatov. Ob koncu dela smo podali priporočila za strokovno in napotke za nadaljnje raziskovalno delo, saj je obravnavana tema široka in omogoča raziskave na več področjih.

## SUMMARY

Transport infrastructure that is appropriately built and maintained, forms the basis for the development of the economy as a whole, and ensures adequate quality of life. During its lifetime, its condition is decreasing due to a combination of various influences. If the infrastructure performance level is to be maintained on the desired level, appropriate scope of maintenance and refurbishment activities needs to be executed. The activities need to, at the same time, adapt to the eventual new needs of the users. Determination of adequate intervals of repair and refurbishment, determination of their scope, optimization of the financial resources consumption, and other goals, however, can be attained only by using appropriate tools.

The doctoral dissertation is focussed to a part of the comprehensive management of transport infrastructure, to the management system of bridges. In other countries, the methods for bridge inspection have developed into comprehensive management systems, while Republic of Slovenia still uses 20 years old bridge inspection methodology only. The goal of the research work was to develop a management system that can be used in practice and will take into the account the specific features of construction as well as the present implementation of bridge management in Slovenia. In order to achieve this goal, criteria and limitations, by which the priority list of structures that require refurbishment in the year under consideration, were justified and selected.

The basis of the new system is the existing methodology for the inspection and determination of the state of bridges. The most critical disadvantage of this methodology, i.e. the fact that concentration of damages within a relatively small area is not considered, is mitigated on the basis of the current research. Further, the decision model encompasses criteria not used before, such as safety at use, users' costs, cost of refurbishment works, the coefficient of condition rating improvement, as well as the determination of the future degradation rate, both for structures as a whole and for their structural part. The prediction of the future degradation rate is the most demanding part of the present research. It is based on the analysis of the individual Investigation Reports for approximately 1200 structures and their structural parts for the last 20 years. The results of the analysis show that the degradation rate depends predominantly on the climate type to which the structure is exposed. It can be concluded that the presence of water under the bridge has a significant effect upon the degradation rate of elements of substructure, and almost no influence upon the behaviour of the superstructure and the deck. The effect of structural material used is relatively small. The influence of the traffic load upon the degradation rate was determined as well. It was

concluded that this parameter has practically no influence upon the degradation rate of the bridge parts, providing that structural design and construction are carried out as required by the codes.

The management system is divided into project level (where the values are assigned to the selected criteria on the individual level, i.e. each structure separately), and network level that consists of technical and economic part. Based on the priority function, the system determines the priority list of structures to be repaired/refurbished within the next 6 years. Condition rating, vulnerability level, the rate of expected future degradation and possibility of the road detour during repair works are taken into the account in this process from the technical point of view. Economic aspect provides the most effective scope of repair works on the level of individual structure, where the condition of the total network, available financial means and the rate of structure condition improvement compared to allocated financial means are taken into the account. In addition, the system enables the acquisition of data regarding annually required financial means for maintaining the current condition of the network, and, if financial means are insufficient, the prediction of the network's annual condition decrease.

The validation of the developed system was carried out for a group of 50 structures. The calculation execution and its feasibility were tested. As the topic under consideration is wide and opened research questions in several areas, in the final part the recommendations for engineering practice are presented, and the future research directions are identified and briefly discussed.

## VIRI

AASHTO, 2001. Guidelines for Bridge Management System. Washington, D.C. American Association of State Highway and Transportation Officials: 40 str.

Adey, B.T., Klatter, L., Kong, J.S. 2010. Overview of Existing Bridge Management Systems. The Fifth International Conference on Bridge Maintenance, Safety and Management. IABMAS 2010. 11.~15. julij 2010: 99 str.

Agrawal, A.K., Kawaguchi, A. 2009. Bridge Element Deterioration Rates. Final report. Transportation Infrastructure Research Consortium. New York State Department of Transportation: 105 str.

Agrawal, A.K., Kawaguchi, A., Chen, Z. 2010. Deterioration Rates of Typical Bridge Elements in New York. Journal of Bridge Engineering, Vol. 15, Special Issue: Bridge Inspection and Evaluation: str. 419-439.

Al-Assar, R., He, Z., Tighe, S., Haas, R. 2000. Simplified User Delay Cost Model for Pavements and Bridge Life Cycle Cost Analysis. Annual Conference of the Transportation Association of Canada, 1.~4. oktober, Edmonton, Alberta.

Alexander, A.R. 2009. Guideline for Implementating Quality Control and Quality Assurance for Bridge Inspection. Master Thesis. Columbia, Universtiy of Missouri: 165 str.

BASt, 2012a. = [http://www.bast.de/cln\\_032/nn\\_75364/EN/e-Aufgaben/e-abteilung-b/e-referat-b4/e-bms/e-bms.html](http://www.bast.de/cln_032/nn_75364/EN/e-Aufgaben/e-abteilung-b/e-referat-b4/e-bms/e-bms.html) (16.2.2012).

BASt, 2012b. = <http://www.krzn.de/C1256E2D004089B9/0/F19A0FFADC68715CC1256E310035463B?OpenDocument&knotenid=K09> (22.2.2012).

Bevc, L., Capuder, F. 1997. Strategija pregledovanja in opazovanja premostitvenih objektov. Obstojnost betonov in trajnost betonskih objektov. Zbornik gradiv in referatov. Ljubljana. 22. maj 1997: str. 13-17.

Bevc, A., Kavčič, L. 2004. Ležišča in dilatacije za premostitvene objekte. Gradbeni proizvodi pri gradnji cest in drugih objektov, novosti, zahteve za kakovost, tržišče EU. MEGRA. Gornja Radgona. 7. april 2004: str. 51-58.

Bridge Inspection Manual (Version 1.8). 2009. Minnesota Department of Transport.  
= [http://www.dot.state.mn.us/bridge/manuals/inspection/BridgeInspectionManual\\_Version1.8.pdf](http://www.dot.state.mn.us/bridge/manuals/inspection/BridgeInspectionManual_Version1.8.pdf) (26.1.2012).

Cafnik, F. 1985. Saniranje masivnih mostov. Gradbeni vestnik št. XXXIV, julij~avgust, 1985. Ljubljana, Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije: str. 149-157.

Cafnik, F. 1992. Organizacija sistematičnega ugotavljanja poškodb armirano-betonskih konstrukcij in določitev optimalnega obsega vzdrževalnih del. Doktorska disertacija. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo: 223 str.

Capers, H. A., Khambhati, N. 2008. International Technology Exchange Programs Scan On Bridge Evaluation Quality Assurance. Fourth US-Taiwan Bridge Engineering Workshop. Princeton, New Jersey, 4. ~ 6. avgust 2008: paper 3, 15 str.

Chen, C. H., Schonfeld, P. 2003. Work Zone Lengths for a Four-Lane Road with an Alternate Route. Transport Research Board. 82nd Annual Meeting, Paper No. 03-2944. Washington D.C.: 30 str.

Cheng, M. Y., Wu, Y. W., Chen, S. J., Weng, M. C. 2009. Economic Evaluation Model for Post-Earthquake Bridge Repair/Rehabilitation: Taiwan Case Studies. Automation in Construction. Vol. 18: str. 204-218.

Dabous, S.A., Alkass, S. 2010. A Multi-attribute Ranking Method for Bridge Management. Engineering, Construction and Architectural Management, Vol. 17, No. 3: str. 282-291.

DIN 1076, 2012. = <http://www.ib-sprenger.de/pdf/din1076.pdf> (20.2.2012).

DRSC, 2011. = [http://www.dc.gov.si/fileadmin/dc.gov.si/pageuploads/Promet/Promet-2012/Prometne\\_obremenitve\\_2011.xls](http://www.dc.gov.si/fileadmin/dc.gov.si/pageuploads/Promet/Promet-2012/Prometne_obremenitve_2011.xls) (15.12.2012).

El-Fatah Safi, M.A., 2009. Bridge Life Cycle Cost Optimization (Analysis, Evaluation & Implementation. Stockholm, Royal Institute of Technology (KTH), Department of Civil and Architectural Engineering: 87 str.

Elbehairy, H. 2007. Bridge Management System with integrated Life Cycle Cost Optimization. Doktorska disertacija. Ontario, University of Waterloo: 193 str.

Ellingwood, B.R., Wen, Y.K. 2005. Risk-benefit-based design decisions for low-probability/high consequence earthquake events in mid-America. Progress in Structural



Engineering and Materials, Vol. 7, Issue 2, april/junij 2005: str. 56-70.

Everett, T.D., Weykamp, P., Capers, H.A., Cox, W.R., Drda, T.S., Hummel, L., Jensen, P., Juntunen, D.A., Kimball, T., Washer G.A. 2008. Bridge Evaluation Quality Assurance in Europe. Washington D.C., Federal Highway Administration - FHWA: 60 str.

Furuta, H., Kameda, T. 2006. Application of Multi-objective Genetic Algorithm to Bridge Maintenance. System Modeling and Optimization, Vol. 199: str. 139-148.

Gattulli, V., Chiaramonte, L. 2005. Condition Assessment by Visual Inspection for a Bridge Management System. Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, Vol. 20, Issue 2: str. 95-107 .

Gehlen, C. 2000. Probabilistische Lebensdauerbemesung von Stahlbetonbauwerken – Zuverlässigkeitsbetrachtungen zur wirksamen Vermeidung von Bewehrungs-korrosion. Heft 510. Berlin, Deutscher Ausschuss für Stahlbeton (DafSTB): 106 str.

Godart, B., Vassie, P.R. 1999. Bridge Management Systems: Extended Review of Existing Systems and Outline Framework for a European System. Deliverable D13. BRIME PL97-2220: 69 str.

Gostič, S., Jarc Simonič, M., Kušar, M., Štampfl, A., Uranjek, M. 2011. Prednosti, slabosti in specifične izvajanja rednih in glavnih pregledov premostitvenih objektov na območju Republike Slovenije. Osebna komunikacija. (november 2011).

Graybeal, B. A. 2002. Visual Inspection of Highway Bridges. Journal of Non-destructive Evaluation, Vol. 21, No. 3: str. 67-83.

Hallberg, D., Racutanu, G. 2006. Development of the Swedish Bridge Management System by Introducing a LMS Concept. Materials and Structures. Vol. 40, No. 6: str. 627-639.

He, Z., Haas, R., Cai, Y. 1997. OPAC 2000: A New Pavement Design System. Final report. Ontario, University of Waterloo: 221 str.

Hearn, G. 1999. Bridge Management Systems. Bridge Safety and Reliability. Reston, Virginia, American Society of Civil Engineers: str. 189-209.

Hearn, G. 2007. Bridge Inspection practices. National Cooperative Highway Research Program – NCHRP. Synthesis 375: 209 str.

Hegazy, T., Elbeltagi, E., Elbehairy, H. 2004. Bridge Deck Management System with Integrated Life Cycle Cost Optimization. Transport Research Record: Journal of the Transportation research Board, No. 1866. Washington D.C.: str. 44-50.

Helmerich, R., Niederleithinger, E., Streicher, D., Wiggerhauser, H. 2008. Bridge Inspection and Condition Assessment in Europe. Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board No. 2044. Washington D.C.: str. 31-38.

Hočevár, M. 2008. Kalkulacija stroškov kamionskega (tovornega) prometa. Ministrstvo za promet. 2008:

= [http://www.mzip.gov.si/fileadmin/mzip.gov.si/pageuploads/Razno/05\\_09\\_08\\_kalkulacije.pdf](http://www.mzip.gov.si/fileadmin/mzip.gov.si/pageuploads/Razno/05_09_08_kalkulacije.pdf) (25.3.2013).

Jerebic, J. 2012. Regresijska analiza. PowerPoint predstavitev.

= [https://um.fnm.um.si/tiki-download\\_wiki\\_attachment.php?attId=83&download=y](https://um.fnm.um.si/tiki-download_wiki_attachment.php?attId=83&download=y) (25.5.2012).

Jutila, A., Sundquist, H. 2007. ETSI Project: Bridge Life Cycle Cost Optimisation. Helsinki, University of Technology, Faculty of Engineering and Architecture: 136 str.

Kraner Šumenjak, T. 2011. Statistika. PowerPoint predstavitev.

= <http://fk.uni-mb.si/fkbv/images/stories/matematika/9pred-stat.pdf> (3.3.2012).

Kušar, M., Šelih, J. 2013. Določitev hitrosti propadanj premostitvenih objektov v odvisnosti od izbranih vplivov - Interno poročilo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 189 str.

Liu, M., Frangopol, D.M. (2005). "Balancing Connectivity Of Deteriorating Bridge Networks And Long-Term Maintenance Cost Through Optimization," Journal of Structural Engineering, Vol. 131, No. 10(4): str. 468-481.

Liu, M., and Frangopol, D.M. (2006a). "Optimizing Bridge Network Maintenance Management Under Uncertainty With Conflicting Criteria: Life-Cycle Maintenance, Failure, and User Costs," Journal of Structural Engineering, Vol. 132, No. 11(11): str. 1835-1845.

Liu, M., and Frangopol, D.M. (2006b). "Probability-Based Bridge Network Performance Evaluation," Journal of Structural Engineering, Vol. 132, No. 11(5): str. 633-641.

Mannisto, V., Virtala, P., Soderqvist, M. K., Kerali, H.R. 2001. Network Level Analysis of

Pavements and Bridges in Europe. 5th International Conference on Managing Pavements. Seattle, ZDA: 15 str.

Marc, K. 2006. Premostitveni objekti na slovenskih avtocestah. Konferenca vzdrževanje, zaščita in popravila betonskih konstrukcij. Zbornik referatov. Lipica. 9.~10. Marec 2006: str. 52-60.

Mohamed, H. A. H. 1995. Development of Optimal Strategies for Bridge Management Systems. Doktorska disertacija. Ottawa, University of Carleton: 247 str.

Morcous, G. 2002. Comparing the Use of Artificial Neural Networks and Case Based Reasoning in Modeling Bridge Deterioration. Annual Conference of the Canadian Society of Civil Engineering. Montreal, Kanada. 5. – 8. junij 2002: str. 1-9.

Morcous, G. 2006. Performance Prediction of Bridge Deck System Using Markov Chains. Journal of Performance of Constructed Facilities. ASCE, 20(2): str. 146-155.

Morcous, G., Lounis, Z. 2006. Management of Bridge Decks Using Stochastic Deterioration Models and Multi-criteria Optimization. 7th International Conference on short and Medium Span Bridges. Montreal, Kanada: str. 1-10.

Mrak, M., Gazvoda, M., Mrak, M. 2005. Projektno financiranje: alternativna oblika financiranja infrastrukturnih objektov. Služba vlade RS za lokalno samoupravo in regionalno politiko: 129 str.

O'Brien, E., Žnidarič, A., Brady, K., Gonzales, A., O'Connor, A. 2005. Procedures for the assessment of highway structures. Proceedings of the Institution of Civil Engineers. Transport, Vol. 158, Issue 1: str. 17-25.

O'Brien, E., Gonzales, A., Dowling, J., Žnidarič, A. 2013. Direct measurement of dynamics in road bridges using a bridge weigh-in-motion system. The Baltic journal of road and bridge Engineering. Vol. 8, No.4: str. 263-270.

OECD, 2001. Asset Management for the Roads Sector. Pariz, Organisation for Economic Co-operation and Development: 81 str.

Padgett, J.E., Dennemann, K., Ghosh, J. 2010. Risk-Based Seismic Life-Cycle Cost-Benefit (LCC-B) Analysis for Bridge Retrofit Assessment. Structural Safety Vol. 32, No. 3, May 2010: str. 165-173.

Patidar, V., Labi, S., Sinha, K.C., Thompson, P. 2007. Multi-Objective Optimization for

Bridge Management Systems. Nacional Cooperative Highway Research Program Report 590, Washington D.C.: 139 str.

Peruš, I., Bevc, L., Žnidarič, J. 1996. Nov pristop pri reševanju problemov upravljanja in vzdrževanja cestnih mostov. Gradbeni vestnik št. 8-9-10, 1996. Ljubljana, Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije: str. 223-230.

Peruš, I., Bevc, L., Žnidarič, J. 1997. Razvoj neparametričnih modelov za kategorizacijo poškodovanosti, napovedovanje preostale življenjske dobe armiranobetonskih konstrukcij in za določanje prioritete za sanacijo cestnih mostov. Raziskovalno poročilo. Ljubljana, Zavod za gradbeništvo Slovenije: 58 str.

Phares, B. M. 2004. - Routine highway bridge inspection condition documentation accuracy and reliability. Journal of Bridge Engineering, Vol. 9, No. 4; 2004: str. 403-413.

Pogodba DRSC-ZRMK, 2010. Pogodba o izvajanju rednih in glavnih pregledov na slovenskih državnih cestah, DRSC št. 2415-10-000569/0 in GI ZRMK št. 100/2010.

Pogodba DRSC-ZRMK, 2011. Pogodba o izvajanju rednih in glavnih pregledov na slovenskih državnih cestah, DRSC št. 2415-11-000314/0 in GI ZRMK št. 64/2011.

Pontis 5.2 User Training. 2009. New Port Beach, California.

= [http://www.pontisusergroup.org/docs/presentations/pug/2009/Day2a-3\\_Pontis\\_5.2\\_Update.pdf](http://www.pontisusergroup.org/docs/presentations/pug/2009/Day2a-3_Pontis_5.2_Update.pdf) (7.2.2012).

Pontis Bridge Inspection Manual. Michigan Department of Transport. 2007.

= [http://www.michigan.gov/documents/mdot/MDOT\\_PontisManual\\_2007\\_195365\\_7.pdf](http://www.michigan.gov/documents/mdot/MDOT_PontisManual_2007_195365_7.pdf) (7.2.2012).

Pontis Update, 2010. Pontis User Training, Newport Rhode Island. Power Point predstavitev.

= [http://www.pontisusergroup.org/docs/presentations/pug/2010/Day1a\\_6-Pontis-5.2\\_Update.pdf](http://www.pontisusergroup.org/docs/presentations/pug/2010/Day1a_6-Pontis-5.2_Update.pdf) (7.2.2012).

Puž, G., Radić, J., Oslaković Stipanović, I. 2010. Novi model za stohastičku analizu trajnosti mostova. Građevinar 62: str. 287-297.

Racutanu, G. 2000. The Real Service Life of Swedish Road Bridges: Case Study. Doktorska disertacija. Stockholm, The Royal Institute of Tehnology: 221 str.

Reichsbrücke, 2012. = [http://www.reichsbruecke.net/geschichte\\_e.php](http://www.reichsbruecke.net/geschichte_e.php) (17.1.2012).

Revizijsko poročilo – vzdrževanje avtocest. 2010. Izrek mnenja o vzdrževanju avtocest v obdobju 2005 – 2007. Računsko sodišče RS. 24.3.2010.

= <http://www.rs-rs.si/rsrs/rsrs.nsf//K29468874F0E38504C12574C6003CCF53?openDocument&appSource=AA288C363EA722B2C125715C001B5795> (20.2. 2012).

Roberts, J.E., Shepard, D. 2000. Bridge Management for the 21st Century. Transportation Research Record. No. 1696: str. 197-203.

Rossow, P. M. 2006. Overview of Bridge Inspection Programs – BIRM. New York, Continuing Education and Development Inc.: 27 str.

Ruotoistenmaki, A. 2007. Road Maintenance Management System – A Simplified Approach. Quantitative Methods of Economics and Management Science. Working Papers W-425. Helsinki School of Economics.: 25 str.

Safi, M., Sundquist, H., Karoumi, R., Racutanu, G. 2011. Bridge Life Cycle Optimization. = [http://intra.sth.kth.se/polopoly\\_fs/1.269619!/Menu/general/column-content/attachment/Safi%20Poster,%202011-11-22.pdf](http://intra.sth.kth.se/polopoly_fs/1.269619!/Menu/general/column-content/attachment/Safi%20Poster,%202011-11-22.pdf) (15.9.2013).

Safi, M. 2012. LCC Application for Bridges and Integration with BMS. Licentiate Thesis in Structural Engineering and Bridges. Stockholm, KTH Architecture and the Build Environment: 59 str.

Sarja, A. 2000. Durability Design of concrete Structures – Committee report 130-CSL. Materials and Structures, Vol. 33, Jan-Feb. 2000: str. 14-20.

Sheils E., O'Connor A., Breyse D., Schoefs F., Yotte S. 2009. Development of a two stage inspection process for the assessment of deteriorating infrastructure. Reliability Engineering & System Safety Journal, dec. 2009: 52 str.

Sobanjo, J.O. 1991. A Decision Support Methodology for the Rehabilitation and Replacement of Highway bridges. Texas, Texas A&M University: 634 str.

Solution Matrix. 2012. Solution Matrix Ltd: Encyclopedia and Business Case Analysis. = <http://www.solutionmatrix.com/cost-benefit-analysis.html> (23.2.2012).

SOS, 2013. = <http://www.sos112.si/slo/page.php?src=os1.htm> (5.5.2013).

Sousa, C.V., Almeida, J.O., Delgado, R.M. 2009. Bridge Management System as an Instrument of Risk Mitigation. Third international Conference on Integrity, Reliability and Failure. Porto, Portugalska. 20.~24. Julij 2009: str. 1-9.

Speiran, K., Francis, J., Ellis, R.M., Thompson, P.D. 2004. Implementation of a Bridge Management System in the Province of Nova Scotia. 2004 Annual Conference of the Transportation Association of Canada, Quebec City, Quebec: 21 str.

Stratt, R.W. 2010. Bridge Management a System Approach for Decision Making. School of Doctoral Studies of the EU. Bruselj: 42 str.

Šelih, J., Kne, A., Srdić, A., Žura, M. 2008. Multiple-criteria decision support system in highway infrastructure management. Transport, Vol. 23, Issue 4: str. 299-305.

Šelih, J. 2010. Performance of concrete exposed to freezing and thawing in different saline environments. Journal of civil engineering and management, Vol. 16, Issue 2, Vilnius, Lithuania: str. 306-311.

Terčelj, S., Žnidarič, J. 1990. Metode za ocenjevanje zanesljivosti mostne konstrukcije. Ljubljana. ZRMK, Inštitut za konstrukcije, gradbeno fiziko in sanacije: 82 str.

Thoft-Christensen, P. 2009. Life-Cycle Cost-Benefit (LCCB) Analysis of Bridges from a User and Social Point of View. Structural and Infrastructure Engineering, Vol. 5, Issue 1: str. 49-57.

Thompson, P.D., Ellis, R.M., Hong, K., Merlo, T. 2003. Implementation of Ontario Bridge Management System. 9th International Bridge Management Conference. Orlando, Florida. 28.-30. April 2003: str. 112-127.

Tokdemir, O.B., Ayvalik, C. in Mohammadi, J., 2000. Prediction of Highway Bridge Performance by Artificial Neural Networks and Genetic Algorithms. Proceeding of the 17th International Symposium on Automation and Robotics in Construction (ISARC). Taipei, Tajvan: str. 1-8.

TSC 06.511:2009. Tehnična specifikacija za prometne obremenitve.

= [http://www.dc.gov.si/fileadmin/dc.gov.si/pageuploads/pdf\\_datoteke/TSC/TSC-06-511-2009.pdf](http://www.dc.gov.si/fileadmin/dc.gov.si/pageuploads/pdf_datoteke/TSC/TSC-06-511-2009.pdf) (20.12.2012)

TSC 07.106. Tehnična specifikacija za ležišča.

= [http://www.dc.gov.si/si/delovna\\_podrocja/ceste/tehnicne\\_specifikacije\\_za\\_ceste/](http://www.dc.gov.si/si/delovna_podrocja/ceste/tehnicne_specifikacije_za_ceste/)  
(20.12.2012)

TSC 07.107. Tehnična specifikacija za dilatacije.

= [http://www.dc.gov.si/si/delovna\\_podrocja/ceste/tehnicne\\_specifikacije\\_za\\_ceste/](http://www.dc.gov.si/si/delovna_podrocja/ceste/tehnicne_specifikacije_za_ceste/)

(20.12.2012)

Vassie, P., Anderson, N., 2006. Algorithms for a New Generation of Bridge Management Systems. Transport Research Foundation. Berkshire, Velika Britanija: 18 str.

= [http://www.transportresearchfoundation.co.uk/PDF/2006/Vassie%20and%20Anderson%20\(2006\)%20Algorithms%20for%20a%20new%20generation%20of%20bridge.PDF](http://www.transportresearchfoundation.co.uk/PDF/2006/Vassie%20and%20Anderson%20(2006)%20Algorithms%20for%20a%20new%20generation%20of%20bridge.PDF)

(15.3.2012).

Vivoda, E., Beseničar Ahčan, S. Kušar, M. 2012. Neurja s poplavami 2007 – posvet. Osebna komunikacija (marec, 2010).

Virtala, P., Mannisto, V. 2001. Network Level Analysis of Pavements and bridges in Europe. 5th International Conference on Managing Pavements, Seattle, Washington: 15 str.

Wakchaure, S. S., Jha, K. N. 2012. Determination of Bridge Health Index Using Analytical Hierarchy Process. Construction Management and Economics 30 (2012): str. 133-149.

Wolfgram, L. 2005. Optimization of Bridge Management and Inspection Procedures. National Science Foundation Grant EEC 0139017. Washington, Washington University, Department of Civil Engineering: 34 str.

Woodward, R.J., Cullington, D.W., Daly, A.F., Vassie, P.R., Haardt, P., Kashner, R., Astudillo, R., Velando, C., Godart, B., Cremona, C., Mahut, B., Raharinaivo, A., Lau, Markey, I., Bevc, L., Peruš, I. 2001. Bridge Management Systems: Extended Review of Existing Systems and Outline framework for a European System. BRIME PL97-2220: 227 str.

Založba Modrijan, podnebni tipi. 2012.

= <http://www.modrijan.si/slv/Solski-program/Solski-program/Gradiva-za-ucitelje/Osnovna-sola/geografija/Slikovno-gradivo-iz-ucbenika-za-geografijo-v-OS-9.-razred> (22.12.2012).

ZCes-1, 2010. Zakon o cestah. Uradni list št. 109/2010 z dne. 30.12.2010.

= <http://www.uradni-list.si/1/content?id=101701> (1.9.2013).

Zitzler, E., Thiele, L., Laumanns, M., Fonseca, C.M., Fonseca, V.D. 2003. Performance assessment of multiobjective optimizers: An analysis and review. IEEE Transactions on Evolutionary Computation 7 (2): str. 117-132.



Žnidarič, J., Bevc, L., Capuder, F., Marolt, J., Srpčič, J., Terčelj, S., Žnidarič, A., Vojska, J. 1992. Vrednotenje varnosti cestnih mostov (Inženirske osnove za računalniško obdelavo poročil o pregledu mostov). Ljubljana. Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij ZRMK, Inštitut za konstrukcije, gradbeno fiziko in sanacije: 43 str.

Žnidarič, J., Terčelj, S., Marolt, J. 1990. Določitev standardov uporabnosti cestnih mostov – številčna ocena stanja mostov – rating. Ljubljana. Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij ZRMK, Inštitut za konstrukcije, gradbeno fiziko in sanacije: 50 str.

Žnidarič, J. 1995. Ugotavljanje ustreznosti obstoječih cestnih mostov. Zbornik: predstavitev nekaterih slovenskih strokovnih člankov o cestah: pripravljeno ob zaključni konferenci OECD/RTRP v Sloveniji, Ljubljana, 19. - 20. oktober 1995: str. 172-177.

Žnidarič, A. 1996. Kontrola varnosti obstoječih mostov. Ljubljana. Gradbeni vestnik št. 8-9-10, 1996. Ljubljana, Zveza društev gradbenih inženirjev in tehnikov Slovenije: str. 223-230.

Žnidarič, J. 2006. Določanje ratinga betonske konstrukcije pri cestnih mostovih in viaduktih. Konferenca vzdrževanje, zaščita in popravila betonskih konstrukcij. Zbornik referatov. Lipica. 9.~10. Marec 2006: str. 43-51.

Žnidarič, A., Pakrashi, V., O'Brien, E., O'Connor, A. 2011. A review of road structure data in six European countries. Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Urban design and planning, Vol. 164, Issue 4: str. 225-232.

## **OSTALI VIRI**

Robič, T., Filipič, B. 2005. Večkriterijsko optimiranje z genetskimi algoritmi in diferencialno evolucijo. Delovno poročilo IJS-DP 9065. Ljubljana, Inštitut Jožef Stefan: 17 str.

Sarja, A., Vesikari, E. 1996. Durability Design of Concrete Structures. London, Taylor & Francis: 160 str.

Ta stran je namenoma prazna.



ZAP. ŠT.	MATERIAL IN TIP KONSTRUKCIJE	PROMETNA OBREMENTEV	PODNEBNI TIP	TRENTNA STOPNJA POŠKOD. (Cr)	ŠTEVILO ANALIZIRANIH OBEKTOV (r)	LETNO VEČANJE POŠKOD. (b)
1	ARMIRANOBETONSKI PODVOZI IN NADVOZI	L	SR	0~5	-	celotni podatki dostopni v internem poročilu (Kušar in Šelih, 2013)
2				5~10	3	
3				10~15	7	
4				15~20	7	
5		S	SR	0~5	-	
6				5~10	5	
7				10~15	3	
8				15~20	-	
9		T	SR	0~5	3	
10				5~10	-	
11				10~15	2	
12				15~20	1	
13		L	CE	0~5	4	
14				5~10	11	
15				10~15	8	
16				15~20	7	
17		S	CE	0~5	2	
18				5~10	5	
19				10~15	6	
20				15~20	7	
21		T	CE	0~5	8	
22				5~10	14	
23				10~15	13	
24				15~20	14	
25		L	GR	0~5	-	
26				5~10	3	
27				10~15	5	
28				15~20	1	
29		S	GR	0~5	-	
30				5~10	-	
31				10~15	1	
32				15~20	-	
33		T	GR	0~5	-	
34				5~10	-	
35				10~15	-	
36				15~20	1	
37	ARMIR	L	SR	0~5	10	
38				5~10	11	
39				10~15	10	
40				15~20	15	
41		S	SR	0~5	8	
42				5~10	4	
43				10~15	5	
44				15~20	3	
45		T	SR	0~5	3	
46				5~10	-	
47				10~15	2	
48				15~20	5	

ZAP. ŠT.	MATERIAL IN TIP KONSTRUKCIJE	PROMETNA OBREMENITEV	PODNEBNI TIP	TRENTNA STOPNJA POŠKOD. (Cr)	ŠTEVILO ANALIZIRANIH OBEKTOV (r)	LETNO VEČANJE POŠKOD. (b)
49	A N O B E T O N S K I  M O S T O V I	L	CE	0~5	56	
50				5~10	72	
51				10~15	92	
52				15~20	182	
53		S	CE	0~5	27	
54				5~10	40	
55				10~15	38	
56				15~20	66	
57		T	CE	0~5	9	
58				5~10	43	
59				10~15	34	
60				15~20	49	
61		L	GR	0~5	7	
62				5~10	9	
63				10~15	17	
64				15~20	22	
65		S	GR	0~5	2	
66				5~10	1	
67				10~15	-	
68				15~20	2	
69		T	GR	0~5	1	
70				5~10	-	
71	10~15			-		
72	15~20			-		
73	K A M N I T I  M O S T O V I	L	SR	0~5	2	
74				5~10	5	
75				10~15	7	
76				15~20	1	
77		S	SR	0~5	1	
78				5~10	3	
79				10~15	4	
80				15~20	4	
81		T	SR	0~5	-	
82				5~10	1	
83				10~15	-	
84				15~20	1	
85		L	CE	0~5	3	
86				5~10	3	
87				10~15	5	
88				15~20	17	
89	S	CE	0~5	4		
90			5~10	1		
91			10~15	4		
92			15~20	8		
93	T	CE	0~5	1		
94			5~10	1		
95			10~15	-		
96			15~20	4		

celotni podatki dostopni v internem poročilu (Kušar in Šelih, 2013)

ZAP. ŠT.	MATERIAL IN TIP KONSTRUKCIJE	PROMETNA OBREMENTEV	PODNEBNI TIP	TRENTNA STOPNJA POŠKOD. (Cr)	ŠTEVILO ANALIZIRANIH OBEKTOV (r)	LETNO VEČANJE POŠKOD. (b)
97		L	GR	0~5	-	
98				5~10	-	
99				10~15	1	
100				15~20	1	
101		S	GR	0~5	-	
102				5~10	-	
103				10~15	-	
104				15~20	-	
105		T	GR	0~5	-	
106				5~10	-	
107				10~15	-	
108				15~20	-	
109	P R E D N A P E T I  M O S T O V I	L	SR	0~5	1	
110				5~10	-	
111				10~15	-	
112				15~20	-	
113		S	SR	0~5	-	
114				5~10	-	
115				10~15	-	
116				15~20	-	
117		T	SR	0~5	-	
118				5~10	-	
119				10~15	-	
120				15~20	-	
121		L	CE	0~5	-	
122				5~10	3	
123				10~15	3	
124				15~20	13	
125		S	CE	0~5	-	
126				5~10	1	
127				10~15	3	
128				15~20	13	
129		T	CE	0~5	-	
130				5~10	3	
131				10~15	3	
132				15~20	14	
133		L	GR	0~5	-	
134				5~10	-	
135				10~15	-	
136				15~20	-	
137	S	GR	0~5	-		
138			5~10	-		
139			10~15	-		
140			15~20	-		
141	T	GR	0~5	-		
142			5~10	-		
143			10~15	-		
144			15~20	-		

celotni podatki dostopni v internem poročilu (Kušar in Šelih, 2013)

ZAP. ŠT.	MATERIAL IN TIP KONSTRUKCIJE	PROMETNA OBREMENITEV	PODNEBNI TIP	TRENTNA STOPNJA POŠKOD. (Cr)	ŠTEVILO ANALIZIRANIH OBEKTOV (r)	LETNO VEČANJE POŠKOD. (b)
145	J E K L E N I  M O S T O V I	L	SR	0~5	-	celotni podatki dostopni v internem poročilu (Kušar in Šelih, 2013)
146				5~10	1	
147				10~15	2	
148				15~20	2	
149		S	SR	0~5	1	
150				5~10	-	
151				10~15	-	
152				15~20	-	
153		T	SR	0~5	-	
154				5~10	-	
155				10~15	-	
156				15~20	-	
157		L	CE	0~5	-	
158				5~10	3	
159				10~15	3	
160				15~20	24	
161		S	CE	0~5	-	
162				5~10	-	
163				10~15	-	
164				15~20	5	
165		T	CE	0~5	-	
166				5~10	-	
167				10~15	-	
168				15~20	2	
169		L	GR	0~5	1	
170				5~10	-	
171				10~15	-	
172				15~20	3	
173		S	GR	0~5	-	
174				5~10	-	
175	10~15			-		
176	15~20			-		
177	T	GR	0~5	-		
178			5~10	-		
179			10~15	-		
180			15~20	-		



ZAP. ŠT.	MATERIAL IN TIP KONSTRUKCIJE	PROMETNA OBREMENITEV	PODNEBNI TIP	TRENTNA STOPNJA POŠKOD. (Cr)	ŠTEVILO ANALIZIRANIH OBEKTOV (r)	LETNO VEČANJE POŠKOD. (b)
1	ARMIRANOBETONSKI PODVOZI IN NADVOZI	L	SR	0~3	10	celotni podatki dostopni v internem poročilu (Kušar in Šelih, 2013)
2				3~6	5	
3				6~9	1	
4				9~12	1	
5		S	SR	0~3	5	
6				3~6	2	
7				6~9	-	
8				9~12	-	
9		T	SR	0~3	5	
10				3~6	1	
11				6~9	-	
12				9~12	-	
13		L	CE	0~3	13	
14				3~6	14	
15				6~9	1	
16				9~12	3	
17		S	CE	0~3	5	
18				3~6	10	
19				6~9	5	
20				9~12	-	
21		T	CE	0~3	21	
22				3~6	20	
23				6~9	5	
24				9~12	3	
25		L	GR	0~3	4	
26				3~6	5	
27				6~9	-	
28				9~12	-	
29		S	GR	0~3	-	
30				3~6	-	
31				6~9	1	
32				9~12	-	
33		T	GR	0~3	-	
34				3~6	-	
35				6~9	-	
36				9~12	-	
37	ARMIR	L	SR	0~3	14	
38				3~6	18	
39				6~9	11	
40				9~12	2	
41		S	SR	0~3	9	
42				3~6	8	
43				6~9	1	
44				9~12	2	
45		T	SR	0~3	3	
46				3~6	4	
47				6~9	1	
48				9~12	1	

ZAP. ŠT.	MATERIAL IN TIP KONSTRUKCIJE	PROMETNA OBREMENITEV	PODNEBNI TIP	TRENTNA STOPNJA POŠKOD. (Cr)	ŠTEVILO ANALIZIRANIH OBEKTOV (r)	LETNO VEČANJE POŠKOD. (b)
49	A N O B E T O N S K I  M O S T O V I	L	CE	0~3	95	
50				3~6	123	
51				6~9	104	
52				9~12	80	
53		S	CE	0~3	48	
54				3~6	68	
55				6~9	37	
56				9~12	18	
57		T	CE	0~3	25	
58				3~6	67	
59				6~9	29	
60				9~12	13	
61		L	GR	0~3	13	
62				3~6	17	
63				6~9	13	
64				nad 9	12	
65		S	GR	0~3	3	
66				3~6	2	
67				6~9	-	
68				nad 9	-	
69		T	GR	0~3	-	
70				3~6	-	
71	6~9			-		
72	nad 9			-		
73	K A M N I T I  M O S T O V I	L	SR	0~3	3	
74				3~6	10	
75				6~9	1	
76				9~12	1	
77		S	SR	0~3	4	
78				3~6	7	
79				6~9	1	
80				9~12	1	
81		T	SR	0~3	1	
82				3~6	1	
83				6~9	-	
84				9~12	-	
85		L	CE	0~3	9	
86				3~6	7	
87				6~9	6	
88				9~12	9	
89		S	CE	0~3	7	
90				3~6	3	
91				6~9	6	
92				9~12	1	
93		T	CE	0~3	2	
94				3~6	-	
95	6~9			2		
96	9~12			2		

celotni podatki dostopni v internem poročilu (Kušar in Šelih, 2013)

ZAP. ŠT.	MATERIAL IN TIP KONSTRUKCIJE	PROMETNA OBREMENITEV	PODNEBNI TIP	TRENTNA STOPNJA POŠKOD. (Cr)	ŠTEVILO ANALIZIRANIH OBEKTOV (r)	LETNO VEČANJE POŠKOD. (b̄)
97		L	GR	0~3	-	
98				3~6	1	
99				6~9	1	
100				9~12	-	
101		S	GR	0~3	-	
102				3~6	-	
103				6~9	-	
104				9~12	-	
105		T	GR	0~3	-	
106				3~6	-	
107				6~9	-	
108				9~12	-	
109	P R E D N A P E T I  M O S T O V I	L	SR	0~3	1	
110				3~6	-	
111				6~9	-	
112				9~12	-	
113		S	SR	0~3	-	
114				3~6	-	
115				6~9	-	
116				9~12	-	
117		T	SR	0~3	-	
118				3~6	-	
119				6~9	-	
120				9~12	-	
121		L	CE	0~3	3	
122				3~6	6	
123				6~9	6	
124				9~12	4	
125		S	CE	0~3	2	
126				3~6	5	
127				6~9	8	
128				9~12	2	
129	T	CE	0~3	5		
130			3~6	6		
131			6~9	4		
132			9~12	6		
133	L	GR	0~3	-		
134			3~6	-		
135			6~9	-		
136			9~12	-		
137	S	GR	0~3	-		
138			3~6	-		
139			6~9	-		
140			9~12	-		
141	T	GR	0~3	-		
142			3~6	-		
143			6~9	-		
144			9~12	-		

celotni podatki dostopni v internem poročilu (Kušar in Šelih, 2013)

ZAP. ŠT.	MATERIAL IN TIP KONSTRUKCIJE	PROMETNA OBREMENITEV	PODNEBNI TIP	TRENTNA STOPNJA POŠKOD. (Cr)	ŠTEVILO ANALIZIRANIH OBEKTOV (r)	LETNO VEČANJE POŠKOD. (b̄)
145	J E K L E N I M O S T O V I	L	SR	0~3	-	celotni podatki dostopni v internem poročilu (Kušar in Šelih, 2013)
146				3~6	3	
147				6~9	1	
148				9~12	1	
149		S	SR	0~3	1	
150				3~6	-	
151				6~9	-	
152				9~12	-	
153		T	SR	0~3	-	
154				3~6	-	
155				6~9	-	
156				9~12	-	
157		L	CE	0~3	-	
158				3~6	6	
159				6~9	9	
160				9~12	15	
161		S	CE	0~3	-	
162				3~6	2	
163				6~9	1	
164				9~12	2	
165		T	CE	0~3	-	
166				3~6	1	
167				6~9	-	
168				9~12	1	
169		L	GR	0~3	1	
170				3~6	-	
171				6~9	-	
172				9~12	3	
173		S	GR	0~3	-	
174				3~6	-	
175				6~9	-	
176				9~12	-	
177	T	GR	0~3	-		
178			3~6	-		
179			6~9	-		
180			9~12	-		

ZAP. ŠT.	MATERIAL IN TIP KONSTRUKCIJE	PROMETNA OBREMENITEV	PODNEBNI TIP	TRENTNA STOPNJA POŠKOD. (Cr)	ŠTEVILO ANALIZIRANIH OBEKTOV (r)	LETNO VEČANJE POŠKOD. (b)
1	ARMIRANOBETONSKI PODVOZI IN NADVOZI	L	SR	0~3	3	celotni podatki dostopni v internem poročilu (Kušar in Šelih, 2013)
2				3~6	5	
3				6~9	4	
4				9~12	5	
5		S	SR	0~3	5	
6				3~6	3	
7				6~9	-	
8				9~12	-	
9		T	SR	0~3	3	
10				3~6	2	
11				6~9	1	
12				9~12	-	
13		L	CE	0~3	14	
14				3~6	9	
15				6~9	3	
16				9~12	3	
17		S	CE	0~3	8	
18				3~6	4	
19				6~9	5	
20				9~12	3	
21		T	CE	0~3	27	
22				3~6	12	
23				6~9	3	
24				9~12	6	
25		L	GR	0~3	4	
26				3~6	4	
27				6~9	-	
28				9~12	1	
29		S	GR	0~3	-	
30				3~6	1	
31				6~9	-	
32				9~12	-	
33		T	GR	0~3	-	
34				3~6	-	
35				6~9	-	
36				9~12	1	
37	ARMIR	L	SR	0~3	15	
38				3~6	15	
39				6~9	8	
40				9~12	5	
41		S	SR	0~3	11	
42				3~6	3	
43				6~9	4	
44				9~12	1	
45		T	SR	0~3	-	
46				3~6	2	
47				6~9	2	
48				9~12	3	

ZAP. ŠT.	MATERIAL IN TIP KONSTRUKCIJE	PROMETNA OBREMENITEV	PODNEBNI TIP	TRENTNA STOPNJA POŠKOD. (Cr)	ŠTEVILO ANALIZIRANIH OBEKTOV (r)	LETNO VEČANJE POŠKOD. (b)
49	A N O B E T O N S K I  M O S T O V I	L	CE	0~3	163	
50				3~6	104	
51				6~9	55	
52				9~12	65	
53		S	CE	0~3	72	
54				3~6	39	
55				6~9	29	
56				9~12	24	
57		T	CE	0~3	54	
58				3~6	34	
59				6~9	26	
60				9~12	17	
61		L	GR	0~3	23	
62				3~6	14	
63				6~9	10	
64				nad 9	7	
65		S	GR	0~3	2	
66				3~6	-	
67				6~9	-	
68				nad 9	2	
69		T	GR	0~3	1	
70				3~6	-	
71				6~9	-	
72				nad 9	1	
73	K A M N I T I  M O S T O V I	L	SR	0~3	7	
74				3~6	7	
75				6~9	0	
76				9~12	1	
77		S	SR	0~3	4	
78				3~6	2	
79				6~9	4	
80				9~12	2	
81		T	SR	0~3	1	
82				3~6	0	
83				6~9	1	
84				9~12	-	
85		L	CE	0~3	5	
86				3~6	15	
87				6~9	4	
88				9~12	7	
89		S	CE	0~3	4	
90				3~6	5	
91				6~9	4	
92				9~12	4	
93		T	CE	0~3	1	
94				3~6	1	
95				6~9	2	
96				9~12	2	

celotni podatki dostopni v internem poročilu (Kušar in Šelih, 2013)

ZAP. ŠT.	MATERIAL IN TIP KONSTRUKCIJE	PROMETNA OBREMENITEV	PODNEBNI TIP	TRENTNA STOPNJA POŠKOD. (Cr)	ŠTEVILO ANALIZIRANIH OBEKTOV (r)	LETNO VEČANJE POŠKOD. (b̄)
97		L	GR	0~3	-	
98				3~6	-	
99				6~9	1	
100				9~12	1	
101		S	GR	0~3	-	
102				3~6	-	
103				6~9	-	
104				9~12	-	
105		T	GR	0~3	-	
106				3~6	-	
107				6~9	-	
108				9~12	-	
109	P R E D N A P E T I  M O S T O V I	L	SR	0~3	1	
110				3~6	-	
111				6~9	-	
112				9~12	-	
113		S	SR	0~3	-	
114				3~6	-	
115				6~9	-	
116				9~12	-	
117		T	SR	0~3	-	
118				3~6	-	
119				6~9	-	
120				9~12	-	
121		L	CE	0~3	6	
122				3~6	8	
123				6~9	3	
124				9~12	3	
125		S	CE	0~3	2	
126				3~6	4	
127				6~9	3	
128				9~12	8	
129	T	CE	0~3	4		
130			3~6	12		
131			6~9	3		
132			9~12	1		
133	L	GR	0~3	-		
134			3~6	-		
135			6~9	-		
136			9~12	-		
137	S	GR	0~3	-		
138			3~6	-		
139			6~9	-		
140			9~12	-		
141	T	GR	0~3	-		
142			3~6	-		
143			6~9	-		
144			9~12	-		

celotni podatki dostopni v internem poročilu (Kušar in Šelih, 2013)

ZAP. ŠT.	MATERIAL IN TIP KONSTRUKCIJE	PROMETNA OBREMNITEV	PODNEBNI TIP	TRENTNA STOPNJA POŠKOD. (Cr)	ŠTEVILO ANALIZIRANIH OBEKTOV (r)	LETNO VEČANJE POŠKOD. (b̄)
145	J E K L E N I  M O S T O V I	L	SR	0~3	1	celotni podatki dostopni v internem poročilu (Kušar in Šelih, 2013)
146				3~6	-	
147				6~9	2	
148				9~12	2	
149		S	SR	0~3	-	
150				3~6	1	
151				6~9	-	
152				9~12	-	
153		T	SR	0~3	-	
154				3~6	-	
155				6~9	-	
156				9~12	-	
157		L	CE	0~3	4	
158				3~6	7	
159				6~9	7	
160				9~12	13	
161		S	CE	0~3	-	
162				3~6	-	
163				6~9	-	
164				9~12	5	
165		T	CE	0~3	1	
166				3~6	-	
167				6~9	-	
168				9~12	1	
169		L	GR	0~3	-	
170				3~6	-	
171				6~9	2	
172				9~12	1	
173		S	GR	0~3	-	
174				3~6	-	
175	6~9			-		
176	9~12			-		
177	T	GR	0~3	-		
178			3~6	-		
179			6~9	-		
180			9~12	-		



ZAP. ŠT.	MATERIAL IN TIP KONSTRUKCIJE	PROMETNA OBREMNITEV	PODNEBNI TIP	TRENTNA STOPNJA POŠKOD. (Cr)	ŠTEVILO ANALIZIRANIH OBEKTOV (r)	LETNO VEČANJE POŠKOD. (b)
1	ARMIRANOBETONSKI PODVOZI IN NADVOZI	L	SR	0~2	6	celotni podatki dostopni v internem poročilu (Kušar in Šelih, 2013)
2				2~4	10	
3				4~6	1	
4				6~8	-	
5		S	SR	0~2	5	
6				2~4	2	
7				4~6	1	
8				6~8	-	
9		T	SR	0~2	2	
10				2~4	4	
11				4~6	-	
12				6~8	-	
13		L	CE	0~2	13	
14				2~4	10	
15				4~6	5	
16				6~8	2	
17		S	CE	0~2	5	
18				2~4	10	
19				4~6	4	
20				6~8	1	
21		T	CE	0~2	16	
22				2~4	19	
23				4~6	11	
24				6~8	3	
25		L	GR	0~2	1	
26				2~4	4	
27				4~6	4	
28				6~8	-	
29		S	GR	0~2	1	
30				2~4	-	
31				4~6	-	
32				6~8	-	
33		T	GR	0~2	1	
34				2~4	-	
35				4~6	-	
36				6~8	-	
37	ARMIR	L	SR	0~2	27	
38				2~4	18	
39				4~6	2	
40				6~8	-	
41		S	SR	0~2	14	
42				2~4	6	
43				4~6	-	
44				6~8	-	
45		T	SR	0~2	4	
46				2~4	3	
47				4~6	2	
48				6~8	-	

ZAP. ŠT.	MATERIAL IN TIP KONSTRUKCIJE	PROMETNA OBREMENITEV	PODNEBNI TIP	TRENTNA STOPNJA POŠKOD. (Cr)	ŠTEVILO ANALIZIRANIH OBEKTOV (r)	LETNO VEČANJE POŠKOD. (b)	
49	A N O B E T O N S K I  M O S T O V I	L	CE	0~2	144	celotni podatki dostopni v internem poročilu (Kušar in Šelih, 2013)	
50				2~4	158		
51				4~6	67		
52				6~8	32		
53		S	CE	0~2	59		
54				2~4	70		
55				4~6	28		
56				6~8	14		
57		T	CE	0~2	48		
58				2~4	54		
59				4~6	18		
60				6~8	12		
61		L	GR	0~2	27		
62				2~4	22		
63				4~6	4		
64				6~8	2		
65			S	GR	0~2		3
66					2~4		1
67					4~6		-
68					6~8		1
69		T	GR	0~2	1		
70				2~4	-		
71				4~6	-		
72				6~8	-		
73	K A M N I T I  M O S T O V I	L	SR	0~2	15		
74				2~4	5		
75				4~6	1		
76				6~8	-		
77		S	SR	0~2	-		
78				2~4	4		
79				4~6	-		
80				6~8	1		
81		T	SR	0~2	3		
82				2~4	-		
83				4~6	-		
84				6~8	-		
85		L	CE	0~2	21		
86				2~4	7		
87				4~6	5		
88				6~8	-		
89	S	CE	0~2	8			
90			2~4	7			
91			4~6	1			
92			6~8	1			
93	T	CE	0~2	2			
94			2~4	2			
95			4~6	2			
96			6~8	-			

ZAP. ŠT.	MATERIAL IN TIP KONSTRUKCIJE	PROMETNA OBREMENITEV	PODNEBNI TIP	TRENTNA STOPNJA POŠKOD. (Cr)	ŠTEVILO ANALIZIRANIH OBEKTOV (r)	LETNO VEČANJE POŠKOD. (b)
97		L	GR	0~2	1	
98				2~4	1	
99				4~6	-	
100				6~8	-	
101		S	GR	0~2	-	
102				2~4	-	
103				4~6	-	
104				6~8	-	
105		T	GR	0~2	-	
106				2~4	-	
107				4~6	-	
108				6~8	-	
109	P R E D N A P E T I  M O S T O V I	L	SR	0~2	1	
110				2~4	-	
111				4~6	-	
112				6~8	-	
113		S	SR	0~2	-	
114				2~4	-	
115				4~6	-	
116				6~8	-	
117		T	SR	0~2	-	
118				2~4	-	
119				4~6	-	
120				6~8	-	
121		L	CE	0~2	3	
122				2~4	9	
123				4~6	8	
124				6~8	7	
125		S	CE	0~2	-	
126				2~4	5	
127				4~6	9	
128				6~8	4	
129		T	CE	0~2	3	
130				2~4	4	
131				4~6	10	
132				6~8	6	
133	L	GR	0~2	-		
134			2~4	-		
135			4~6	-		
136			6~8	-		
137	S	GR	0~2	-		
138			2~4	-		
139			4~6	-		
140			6~8	-		
141	T	GR	0~2	-		
142			2~4	-		
143			4~6	-		
144			6~8	-		

celotni podatki dostopni v internem poročilu (Kušar in Šelih, 2013)

ZAP. ŠT.	MATERIAL IN TIP KONSTRUKCIJE	PROMETNA OBREMENITEV	PODNEBNI TIP	TRENTNA STOPNJA POŠKOD. (Cr)	ŠTEVILO ANALIZIRANIH OBEKTOV (r)	LETNO VEČANJE POŠKOD. (b)
145	J E K L E N I  M O S T O V I	L	SR	0~2	4	celotni podatki dostopni v internem poročilu (Kušar in Šelih, 2013)
146				2~4	1	
147				4~6	-	
148				6~8	-	
149		S	SR	0~2	1	
150				2~4	-	
151				4~6	-	
152				6~8	-	
153		T	SR	0~2	-	
154				2~4	-	
155				4~6	-	
156				6~8	-	
157		L	CE	0~2	11	
158				2~4	9	
159				4~6	7	
160				6~8	2	
161		S	CE	0~2	1	
162				2~4	3	
163				4~6	-	
164				6~8	1	
165		T	CE	0~2	1	
166				2~4	1	
167				4~6	-	
168				6~8	-	
169		L	GR	0~2	2	
170				2~4	1	
171				4~6	1	
172				6~8	-	
173		S	GR	0~2	-	
174				2~4	-	
175	4~6			-		
176	6~8			-		
177	T	GR	0~2	-		
178			2~4	-		
179			4~6	-		
180			6~8	-		



OBJEKT KOT CELOTA					
ZAP. ŠT.	MATERIAL IN TIP KONSTRUKCIJE	PODNEBNI TIP	TRENTNA STOPNJA POŠKOD. (Cr)	ŠTEVILO ANALIZIRANIH OBEKTOV (r)	LETNI PRIRASTEK POŠKOD. (PP)
1	armiran beton PODVOZI / NADVOZI	SR	0~5	3	celotni podatki dostopni v internem poročilu (Kušar in Šelih, 2013)
2			5~10	8	
3			10~15	12	
4			nad 15	8	
5		CE	0~5	14	
6			5~10	30	
7			10~15	27	
8			nad 15	28	
9		GR	0~5	-	
10			5~10	3	
11			10~15	6	
12			nad 15	2	
13	armiran beton MOSTOVI	SR	0~5	21	
14			5~10	15	
15			10~15	17	
16			nad 15	23	
17		CE	0~5	92	
18			5~10	155	
19			10~15	164	
20			nad 15	297	
21		GR	0~5	10	
22			5~10	10	
23			10~15	17	
24			nad 15	24	
25	kamniti MOSTOVI	SR	0~5	3	
26			5~10	9	
27			10~15	11	
28			nad 15	6	
29		CE	0~5	8	
30			5~10	5	
31			10~15	9	
32			nad 15	29	
33	prednapeti MOSTOVI	CE	0~5	-	
34			5~10	7	
35			10~15	9	
36			nad 15	40	
37	jekleni MOSTOVI	SR	0~5	1	
38			5~10	1	
39			10~15	2	
40			nad 15	2	
41		CE	0~5	-	
42			5~10	3	
43			10~15	3	
44			nad 15	30	

PODKONSTRUKCIJA					
ZAP. ŠT.	MATERIAL IN TIP KONSTRUKCIJE	PODNEBNI TIP	TRENUTNA STOPNJA POŠKOD. (Cr)	ŠTEVILO ANALIZIRANIH OBEKTOV (r)	LETNI PRIRASTEK POŠKOD. (PP <sub>pod</sub> )
1	armiran beton PODVOZI / NADVOZI	SR	0~3	20	
2			3~6	8	
3			6~9	1	
4			nad 9	1	
5		CE	0~3	39	
6			3~6	44	
7			6~9	11	
8			nad 9	6	
9		GR	0~3	4	
10			3~6	5	
11			6~9	1	
12			nad 9	-	
13	armiran beton MOSTOVI	SR	0~3	26	
14			3~6	30	
15			6~9	13	
16			nad 9	5	
17		CE	0~3	168	
18			3~6	258	
19			6~9	170	
20			nad 9	111	
21		GR	0~3	16	
22			3~6	19	
23			6~9	13	
24			nad 9	12	
25	kamniti MOSTOVI	SR	0~3	8	
26			3~6	18	
27			6~9	2	
28			nad 9	2	
29		CE	0~3	18	
30			3~6	10	
31			6~9	14	
32			nad 9	12	
33	prednapeti MOSTOVI	CE	0~3	10	
34			3~6	17	
35			6~9	18	
36			nad 9	12	
37	jekleni MOSTOVI	SR	0~3	1	
38			3~6	3	
39			6~9	1	
40			nad 9	1	
41		CE	0~3	-	
42			3~6	9	
43			6~9	10	
44			nad 9	18	

celotni podatki dostopni v internem poročilu (Kušar in Šelih, 2013)

PREKLADNA KONSTRUKCIJA					
ZAP. ŠT.	MATERIAL IN TIP KONSTRUKCIJE	PODNEBNI TIP	TRENUTNA STOPNJA POŠKOD. (Cr)	ŠTEVILO ANALIZIRANIH OBEKTOV (r)	LETNI PRIRASTEK POŠKOD. (PP <sub>pre</sub> )
1	armiran beton PODVOZI / NADVOZI	SR	0~3	11	celotni podatki dostopni v internem poročilu (Kušar in Šelih, 2013)
2			3~6	10	
3			6~9	5	
4			nad 9	5	
5		CE	0~3	49	
6			3~6	25	
7			6~9	11	
8			nad 9	12	
9		GR	0~3	4	
10			3~6	5	
11			6~9	-	
12			nad 9	2	
13	armiran beton MOSTOVI	SR	0~3	27	
14			3~6	20	
15			6~9	14	
16			nad 9	9	
17		CE	0~3	289	
18			3~6	177	
19			6~9	110	
20			nad 9	106	
21		GR	0~3	26	
22			3~6	14	
23			6~9	10	
24			nad 9	9	
25	kamniti MOSTOVI	SR	0~3	12	
26			3~6	11	
27			6~9	7	
28			nad 9	3	
29		CE	0~3	10	
30			3~6	23	
31			6~9	10	
32			nad 9	13	
33	prednapeti MOSTOVI	CE	0~3	14	
34			3~6	31	
35			6~9	11	
36			nad 9	13	
37	jekleni MOSTOVI	SR	0~3	1	
38			3~6	4	
39			6~9	1	
40			nad 9	-	
41		CE	0~3	5	
42			3~6	7	
43			6~9	8	
44			nad 9	18	



CESTIŠČE					
ZAP. ŠT.	MATERIAL IN TIP KONSTRUKCIJE	PODNEBNI TIP	TRENTNA STOPNJA POŠKOD. (Cr)	ŠTEVILO ANALIZIRANIH OBEKTOV (r)	LETNI PRIRASTEK POŠKOD. (PPces)
1	armiran beton PODVOZI / NADVOZI	SR	0~2	13	
2			2~4	16	
3			4~6	2	
4			nad 6	-	
5		CE	0~2	34	
6			2~4	39	
7			4~6	20	
8			nad 6	6	
9		GR	0~2	3	
10			2~4	4	
11			4~6	4	
12			nad 6	-	
1	armiran beton MOSTOVI	SR	0~2	45	
2			2~4	27	
3			4~6	4	
4			nad 6	-	
5		CE	0~2	251	
6			2~4	282	
7			4~6	113	
8			nad 6	58	
9		GR	0~2	31	
10			2~4	23	
11			4~6	4	
12			nad 6	3	
13	kamniti MOSTOVI	SR	0~2	27	
14			2~4	9	
15			4~6	1	
16			nad 6	1	
17		CE	0~2	31	
18			2~4	16	
19			4~6	8	
20			nad 6	1	
21	prednapeti MOSTOVI	CE	0~2	6	
22			2~4	18	
23			4~6	27	
24			nad 6	17	
25	jekleni MOSTOVI	SR	0~2	5	
26			2~4	1	
27			4~6	-	
28			nad 6	-	
29		CE	0~2	13	
30			2~4	13	
31			4~6	7	
32			nad 6	3	

celotni podatki dostopni v internem poročilu (Kušar in Šelih, 2013)





## SISTEM ZA UPRAVLJANJE S PREMOSTITVENIMI OBJEKTI



OMEJITVE	funkcija stanja:	< 80
	K(lo) in K(lp):	> 0,5
	B/C razmerje:	1,5

RAZPOLOŽLJIVA FINANČNA SREDSTVA	let[o]y]:	70.000,00 €	let[o]y+3]:	70.000,00 €
	let[o]y+1]:	70.000,00 €	let[o]y+4]:	70.000,00 €
	let[o]y+2]:	70.000,00 €	let[o]y+5]:	70.000,00 €

objekt	funkcija stanja	funkcija prioritizacije za leto:						prioritizacija [leto y]	stroški sanacije [€]		koef. izbolj. (del)		vrednost sanacije v letu					
		y	y+1	y+2	y+3	y+4	y+5		delna	celovita	K (lo)	K (lp)	y	y+1	y+2	y+3	y+4	y+5
LJ0001	39,53	47,43	50,48	53,12	55,76	58,40	61,04	30	4.992,00	20.157,80	0,60	0,57						
LJ0002	73,98	88,77	91,94	41,53	44,70	47,87	51,03	6	6.396,00	39.930,80	0,50	0,50	6.396,00 €					
LJ0003	20,98	25,17	27,38	29,59	31,80	34,00	36,21	46	2.340,00	9.198,80	0,60	0,59						
LJ0004	51,98	62,38	64,56	66,75	68,93	33,72	35,90	20	5.928,00	29.642,60	0,50	0,52			5.928,00 €			
LJ0005	80,53	96,64	25,92	28,88	31,85	34,81	37,78	3	15.184,00	27.614,60	0,75	0,73	15.184,00 €					
LJ0006	19,13	22,96	25,04	27,13	29,22	31,31	33,40	47	3.172,00	7.553,00	0,75	0,74						
LJ0007	25,89	31,07	33,48	35,90	38,31	40,72	43,13	40	3.588,00	12.823,20	0,60	0,63						
LJ0008	26,10	31,32	33,54	35,76	37,98	40,20	42,42	39	3.458,00	12.186,20	0,60	0,64						
LJ0017	60,30	66,33	68,52	70,71	72,89	21,32	23,51	18	11.668,80	21.283,60	0,75	0,77			21.283,60 €			
LJ0018	69,16	76,08	78,22	80,36	16,59	18,73	20,88	11	15.069,60	23.899,20	0,85	0,86		23.899,20 €				
LJ0019	16,38	18,02	19,70	21,38	23,06	24,74	26,42	49	2.860,00	4.914,00	0,75	0,69						
LJ0020	54,78	60,26	62,64	65,03	67,41	69,79	25,24	23	11.419,20	19.734,00	0,75	0,70					19.734,00 €	
LJ0021	56,62	62,28	64,31	66,33	68,35	70,37	19,28	21	12.402,00	19.175,00	0,85	0,79					19.175,00 €	
LJ0022	46,24	50,86	52,77	54,69	56,60	58,51	60,42	28	9.859,20	16.554,20	0,80	0,76						
LJ0025	50,47	55,51	57,86	60,21	62,56	64,91	67,26	27	9.547,20	18.714,20	0,75	0,73						18.714,20 €
LJ0069	53,56	58,92	61,07	63,23	65,38	67,54	21,76	25	9.594,00	19.723,60	0,75	0,74					9.594,00 €	
LJ0070	53,88	59,27	61,23	63,18	65,14	67,10	69,05	24	12.542,40	17.141,80	0,75	0,75						17.141,80 €
LJ0071	52,46	57,71	59,72	61,73	63,74	65,76	67,77	26	10.857,60	17.727,80	0,80	0,80						17.727,80 €
LJ0072	67,54	74,30	76,75	79,20	23,13	25,58	28,03	13	11.419,20	22.149,60	0,75	0,77		22.149,60 €				
LJ0073	67,91	74,70	77,37	80,03	31,79	34,46	37,13	12	11.606,40	27.783,60	0,75	0,78		11.606,40 €				
LJ0074	67,24	73,97	76,67	79,37	26,37	29,07	31,77	14	12.230,40	21.473,40	0,80	0,73		12.230,40 €				
LJ0075	25,70	28,27	30,49	32,71	34,93	37,14	39,36	44	3.484,00	10.610,60	0,70	0,66						
LJ0077	133,04	59,50	62,84	66,18	66,85	70,34	22,80	1	21.060,00	59.727,20	0,70	0,67	21.060,00 €				14.000,00 €	
LJ0078	63,93	70,32	73,23	76,14	79,05	42,14	45,05	16	2.340,00	34.814,00	0,50	0,52			2.340,00 €			
LJ0079	38,77	42,65	45,19	47,72	50,26	52,79	55,33	36	5.803,20	18.371,60	0,70	0,69						
LJ0080	29,39	32,33	34,51	36,68	38,86	41,03	43,20	42	5.366,40	11.063,00	0,75	0,74						
LJ0082	25,38	27,92	30,37	32,81	35,26	37,71	40,15	45	3.510,00	10.439,00	0,70	0,71						
LJ0083	39,36	43,30	45,72	48,13	50,55	52,96	55,38	34	5.694,00	15.891,20	0,70	0,72						
LJ0084	99,52	109,48	25,07	28,58	32,10	35,61	39,13	2	16.068,00	37.627,20	0,75	0,77	16.068,00 €					
LJ0085	25,96	28,55	30,74	32,92	35,11	37,29	39,48	43	3.172,00	12.854,40	0,60	0,66						
LJ0086	20,65	22,71	24,81	26,90	29,00	31,10	33,20	48	2.901,60	9.360,00	0,70	0,65						
LJ0096	55,60	61,16	63,98	66,81	69,63	72,45	40,16	22	4.290,00	29.185,00	0,50	0,50					4.290,00 €	
LJ0097	40,59	44,65	47,24	49,83	52,42	55,01	57,60	33	5.382,00	20.373,60	0,60	0,59						
LJ0098	45,24	49,77	52,16	54,56	56,95	59,34	61,74	29	5.720,00	24.107,20	0,60	0,60						
LJ0099	38,77	42,65	45,30	47,96	50,62	53,27	55,93	37	5.054,40	17.037,80	0,60	0,61						
LJ0100	73,18	80,50	83,55	42,69	45,74	48,80	51,85	9	2.007,20	32.578,00	0,50	0,54		2.007,20 €				
LJ0101	87,08	95,79	48,29	51,80	55,32	58,83	62,35	4	15.692,00	42.510,00	0,50	0,55	15.692,00 €					15.692,00 €
LJ0102	37,28	37,28	39,78	42,28	44,78	47,28	49,78	38	6.448,00	14.172,60	0,75	0,76						



## SISTEM ZA UPRAVLJANJE S PREMOSTITVENIMI OBJEKTI



OMEJITVE	funkcija stanja:	< 80
	K(Io) in K(Ip):	> 0,5
	B/C razmerje:	1,5

RAZPOLOŽLJIVA FINANČNA SREDSTVA	leto[y]:	70.000,00 €	leto[y+3]:	70.000,00 €
	leto[y+1]:	70.000,00 €	leto[y+4]:	70.000,00 €
	leto[y+2]:	70.000,00 €	leto[y+5]:	70.000,00 €

objekt	funkcija stanja	funkcija prioritizacije za leto:						prioritizacija [leto y]	stroški sanacije [€]		koef. izbolj. (del)		vrednost sanacije v letu						
		y	y+1	y+2	y+3	y+4	y+5		delna	celovita	K (Io)	K (Ip)	y	y+1	y+2	y+3	y+4	y+5	
LJ0103	32,66	32,66	34,44	36,22	38,00	39,78	41,56	41	5.434,00	15.103,40	0,70	0,73							
LJ0104	69,65	76,62	79,77	37,86	41,01	44,17	47,32	10	5.408,00	34.346,00	0,50	0,58		5.408,00 €					
LJ0105	42,50	46,75	49,15	51,54	53,94	56,33	58,72	32	5.408,00	21.481,20	0,60	0,57							
LJ0106	16,37	18,01	20,10	22,18	24,27	26,36	28,44	50	2.184,00	6.284,20	0,70	0,66							
LJ0107	65,10	71,61	74,40	77,19	79,97	27,35	30,14	15	13.000,00	23.530,00	0,75	0,71				23.530,00 €			
LJ0108	77,19	84,91	87,82	29,83	32,74	35,65	38,56	7	15.163,20	29.182,40	0,75	0,72		29.182,40 €					
LJ0109	56,89	62,58	65,27	67,97	70,66	23,57	26,26	19	8.736,00	21.429,20	0,75	0,73				8.736,00 €			
LJ0110	39,13	43,04	45,37	47,70	50,03	52,36	54,68	35	1.768,00	22.165,00	0,50	0,54							
LJ0111	73,29	80,62	83,65	26,12	29,15	32,18	35,21	8	13.478,40	25.591,80	0,75	0,75		13.478,40 €					
LJ0112	84,15	92,56	95,68	32,47	35,59	38,71	41,82	5	13.478,40	37.107,20	0,70	0,72		13.478,40 €					
LJ0113	62,95	69,24	72,27	75,30	78,33	38,10	41,13	17	6.411,60	33.345,00	0,50	0,57				6.411,60 €			
LJ0114	46,91	46,91	49,25	51,59	53,93	56,27	58,61	31	9.087,00	16.174,60	0,75	0,78							

VSOTA VREDNOSTI: 2.796,29 | 2.709,61 | 2.504,79 | 2.396,59 | 2.242,84 | 2.134,38

POTREBNA SREDSTVA: 68.004,00 € | 69.950,40 € | 69.885,60 € | 68.229,20 € | 66.793,00 € | 69.275,80 €

RAZPOLOŽLJIVA SREDSTVA: 70.000,00 € | 70.000,00 € | 70.000,00 € | 70.000,00 € | 70.000,00 € | 70.000,00 €